

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita
Ostrava**

Fakulta bezpečnostního inženýrství

Katedra bezpečnostních služeb

**Kvantifikace úniku hořlavého plynu v objektu
Quantification of Leakage of Flammable Gas in
the Building**

Student: Bc. Lukáš Kičmer

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Miroslav Mynarz

Studijní obor: Technická bezpečnost osob a majetku

Termín odevzdání diplomové práce: 17. 4. 2015

Ostrava 2015

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta bezpečnostního inženýrství
Katedra bezpečnostních služeb

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Lukáš Kičmer**

Studijní program: N3908 Požární ochrana a průmyslová bezpečnost

Studijní obor: 3908T005 Technická bezpečnost osob a majetku

Téma: **Kvantifikace úniku hořlavého plynu v objektu**
Quantification of leakage of flammable gas in the building

Zásady pro vypracování:

Cíl práce:

Cílem diplomové práce je experimentální stanovení množství uniklého hořlavého plynu do ohraničeného prostoru stavebního objektu.

Charakteristika práce:

Práce bude zaměřena na problematiku experimentálního stanovení množství uniklého hořlavého plynu při havárii. Účelem práce je experimentem a výpočtelně, v závislosti na čase, stanovit objem uniklého plynu a pravděpodobnost vzniku výbušné koncentrace. Únik plynu bude řešen za různých podmínek.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Plynárenská příručka GAS s. r. o., kolektiv autorů, Praha, 1997
2. RIEDL R., Plynárenská příručka, SNTL Praha, 1983
3. KOZA, V., ČAPLA, L., Stanovení množství uniklého plynu z poškozených plynovodů. Plyn: odborný měsíčník pro plynárenství. 2010, ročník 10, č. 2. ISSN 0032-1761
4. TDG 903 01 – Výpočet množství uniklého plynu z poškozených plynovodů a plynovodních přípojek, ČPS, 2006
5. ČSN EN 12007-1 – Zásobování plynem – Plynovody s nejvyšším provozním tlakem do 16 bar včetně – Část 1: Všeobecné funkční požadavky

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Miroslav Mynarz**

Datum zadání: 26.06.2014

Datum odevzdání: 17.04.2015



Doc. Mgr. Ing. Radomír Ščurek, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Pavel Poledňák, PhD.
děkan fakulty

„Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou práci vypracoval samostatně.

V Ostravě dne 17. dubna 2015

.....

Podpis studenta

Prohlášení o využití výsledků diplomové práce

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo;
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3);
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě archivována v Ústřední knihovně VŠB-TUO a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že bibliografické údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO;
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- bylo sjednáno, že užít své dílo, diplomovou práci, nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne 17. dubna 2015

Lukáš Kičmer

Děkuji vedoucímu své diplomové práce panu Ing. Miroslavovi Mynarzovi za vedení, vstřícný přístup a poskytnutí námětů, cenných rad a připomínek. Dále bych rád poděkoval panu Ing. Aleši Tulachovi za pomoc a poskytnutí cenných rad a námětů.

Abstrakt

Kvantifikace úniku hořlavého plynu v objektu

Bc. Lukáš Kičmer

Diplomová práce se zabývá tématem *Kvantifikace úniku hořlavého plynu v objektu*. Cílem práce je experimentální stanovení množství uniklého hořlavého plynu do ohraničeného prostoru stavebního objektu. Autor práce se dále zabývá experimentem množství šíření plynu ve zmenšeném modelu vybraného objektu. Závěrem je určení, zda by bylo možné daný experiment použít pro další výzkum.

Jednotlivé kapitoly jsou: *Úniky plynu, Palivo, Vyšetřování požáru, Teoretická východiska, Postup modelování a měření, Podobnost objektu s jeho modelem*.

Klíčová slova: Model; modelování; podobnost; únik plynu; zemní plyn; propan – butan; oxid uhelnatý; nejistota měření; statistika nehod; výbuch; mimořádná událost; chyby měření.

Abstract

Quantification of Leakage of Flammable Gas in the Building

Bc. Lukáš Kičmer

The thesis deals with *Quantification of Leakage of Flammable Gas in the Building*. The aim of the thesis is experimental determination of the amount of flammable gas leaked into the restricted space of the building. Final chapter determines whether it is possible to use the experiment for further research purposes.

Keywords: Model; Modeling; Similarity; Gas Leak; Propane – butane; Carbon Monoxide; Uncertainty of Measurement; Accident statistics; Explosion; Emergency Situation; Measurement Error.

Obsah

Seznam použitých zkratk

Úvod.....	4
1 Úniky plynu	6
1.1 Statistika nehod a havárií spojených se zemním plynem	6
1.2 Mimořádné události spojené s únikem plynu za poslední roky v Moravskoslezském kraji	9
1.3 Únik plynu a následný výbuch panelového domu ve Frenštátě pod Radhoštěm	11
2 Palivo	15
2.1 Plynná paliva.....	16
2.2 Rozdělení plynných paliv	16
2.2.1 Zemní plyn	16
2.2.2 Propan – butan.....	17
2.2.3 Oxid uhelnatý	18
2.3 Plynná paliva a jejich meze výbušnosti	19
3 Vyšetřování požáru	21
3.1 Příčiny vzniku požáru.....	22
3.2 Společný postup Policie České republiky a Hasičského záchranného sboru.....	23
4 Teoretická východiska.....	24
4.1 Rešerše.....	24
4.2 Modely.....	25
4.2.1 Teorie modelu	25
4.2.2 Možná klasifikace modelů	26
4.2.3 Matematický model a modelování	27

4.2.4 Některé typy matematických modelů	28
4.2.5 Fyzikální model a modelování	29
4.2.6 Přístupy k modelům a modelování	30
4.3 Teorie podobnosti.....	30
4.3.1 Geometrická podobnost	31
4.3.2 Fyzikální podobnost	32
4.3.3 Jednoduchý postup pro určení podobného děje	34
4.4 Nejistoty měření	35
4.4.1 Nejistota typu A.....	35
4.4.2 Nejistota typu B.....	36
4.5 Chyby měření.....	36
4.5.1 Hrubé chyby	36
4.5.2 Systematické chyby	37
4.5.3 Náhodné chyby.....	37
4.5.4 Zaokrouhlování	38
5 Postup modelování a měření.....	39
5.1 Model.....	39
5.2 Výsledky výpočtů.....	51
5.3 Vyhodnocení výsledku měření.....	55
6 Podobnost objektu s jeho modelem.....	58
7 Závěr.....	63
Seznam použité literatury	
Seznam obrázků	
Seznam tabulek	
Seznam grafů	
Seznam příloh	

Seznam použitých zkratek

HZS – Hasičský záchranný sbor

Úvod

„Žádné množství pokusů nikdy nemůže dokázat, že jsem měl pravdu. Jediný pokus však kdykoliv může dokázat, že jsem se mýlil.“ (Einstein) [36]

Každý den nastávají mimořádné události, které jsou neočekávané, a které každého člověka překvapí. Nejznámější jsou asi živelné pohromy. V poslední době jsou stále častější mimořádné události, které jsou spojené s únikem nebezpečných látek. Asi nejzákeřnější mimořádnou událostí je taková událost, kterou úmyslně způsobí člověk. Ze statistik vyplývá, že těžiště výskytu mimořádných událostí je dlouhodobě v oblasti zemního plynu a propan – butanu. [37]

Aby se mimořádným událostem předcházelo, nebo aby se lépe zdořávaly jejich následky, je třeba co nejlépe znát možný vývoj událostí a okolních dějů za různých podmínek. Pro podrobné prozkoumání všech možných mimořádných událostí by bylo třeba nespočet odborníků z mnoha oblastí a ještě více času. Z tohoto důvodu jsem se rozhodl zabývat se experimentem, který by pomohl poodhalit šíření zemního plynu v objektu.

Cílem práce je experimentální stanovení množství uniklého hořlavého plynu do ohraničeného prostoru stavebního objektu.

Jak už jsem výše uvedl, ve své práci se budu věnovat šířením zemního plynu v modelu objektu. Jedná se zejména o objekt mimořádnou událostí už postiženého a tudíž i zničeného domu ve Frenštátě pod Radhoštěm. Tato událost se stala v roce 2013 a vyžádala si nejvíce obětí na životech v tomto typu mimořádných událostí za posledních 5 let v Moravskoslezském kraji.

V první části práce se budu zabývat statistice nehod a havárií způsobených plynem. V této části práce se budu snažit graficky co nejlépe vystihnout příčiny většiny mimořádných událostí způsobených plynem. Popíšu několik mimořádných událostí za poslední roky v Moravskoslezském kraji zapříčiněných únikem plynu a podrobněji rozeberu událost, která se stala v již zmíněném Frenštátě pod Radhoštěm.

Ve druhé části práce se budu věnovat plyným palivům. Zabývat se budu zejména zemním plynem, který se hraje nejčastější roli v mimořádných událostech typu výbuchy a požáry.

V další části práce se budu zabývat metodikou vyšetřování mimořádných událostí. Dále zde budou popsány společné postupy vyšetřování všech složek, které se na podobných typech mimořádných událostí podílejí a to zejména Policie České republiky a Hasičského záchranného sboru (dále jen HZS).

V další kapitole se budu věnovat teoretickými východisky sestavení modelu objektu, přístupem k jednotlivým typům modelu a modelování, dále výpočty a zpracováním dat získaných z měření. V této části práce budou podrobněji rozebrány a popsány postupy, které se nejlépe hodí pro cíle diplomové práce.

V předposlední části práce se zaměřím na samotný experiment, kde popíšu, jaké kroky předcházely samotné stavbě modelu, jak jsem postupoval při stavbě modelu, při měření a kde celý experiment probíhal. Vyhodnotím zde výsledky měření a obohatím je o své myšlenky a náměty.

V poslední části práce budu zkoumat, jestli by daný experiment vůbec bylo možné použít pro další výzkum.

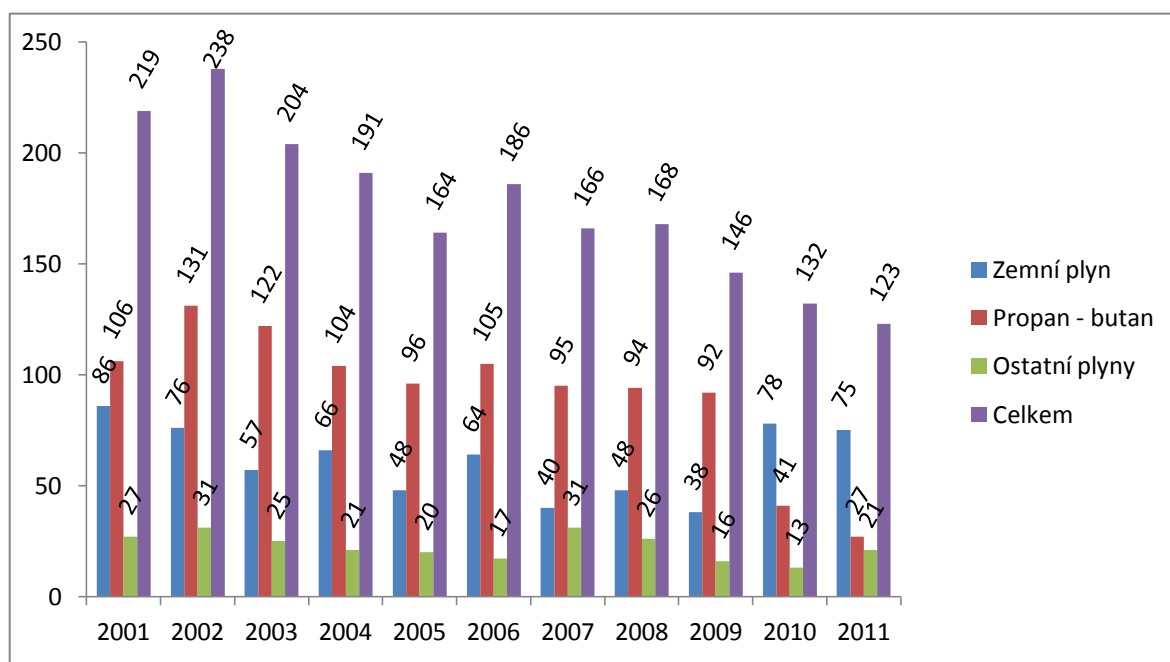
1 Úniky plynu

V poslední době je stále více případů, kdy dochází k zásahům požárních jednotek z důvodu úniku plynu. Tento trend není bohužel zaznamenán jen v Moravskoslezském kraji, ale v celé České republice. Z tohoto důvodu se stále více odborníků zabývá možností předcházení těmto únikům.

V následujících kapitolách bude drobná statistika o požárech, které vznikly v posledních letech v republice.

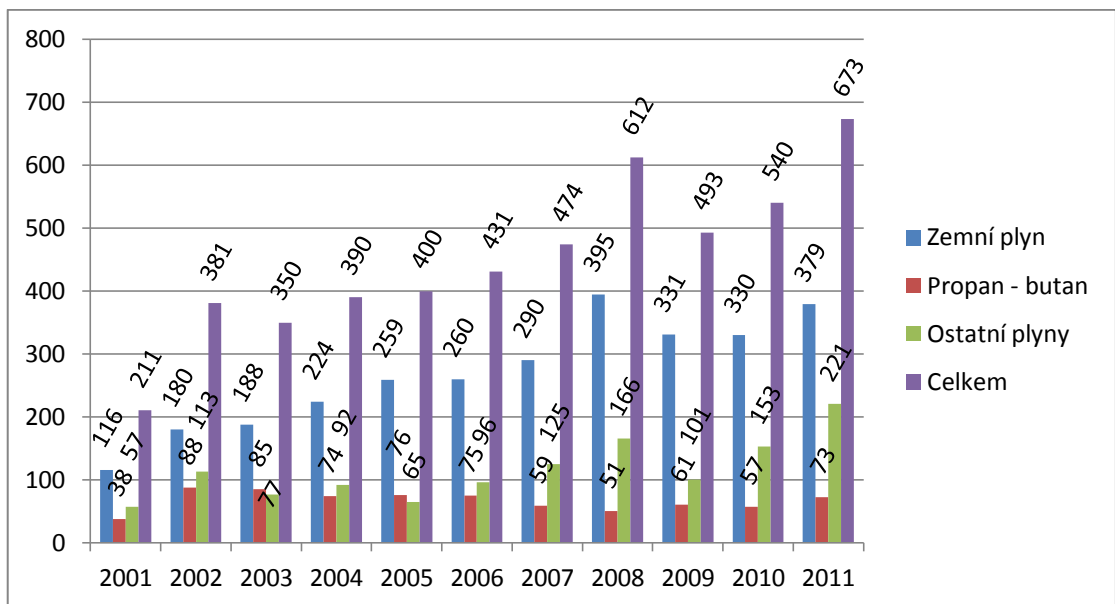
1.1 Statistika nehod a havárií spojených se zemním plynem

Jako zdroj paliva se v poslední hojně využívají plynná paliva. To s sebou pochopitelně nese i riziko mimořádných událostí spjatých s užíváním těchto látek. Je důležité se zabývat, jakým směrem se ubírá bezpečnost v této oblasti. Na grafu číslo 1.1 je možné vidět, kolik požárů za poslední roky bylo způsobeno těmito plynnými palivy. [37]



Graf 1.1: Počty požárů způsobené plynnými palivy za roky 2001 – 2011

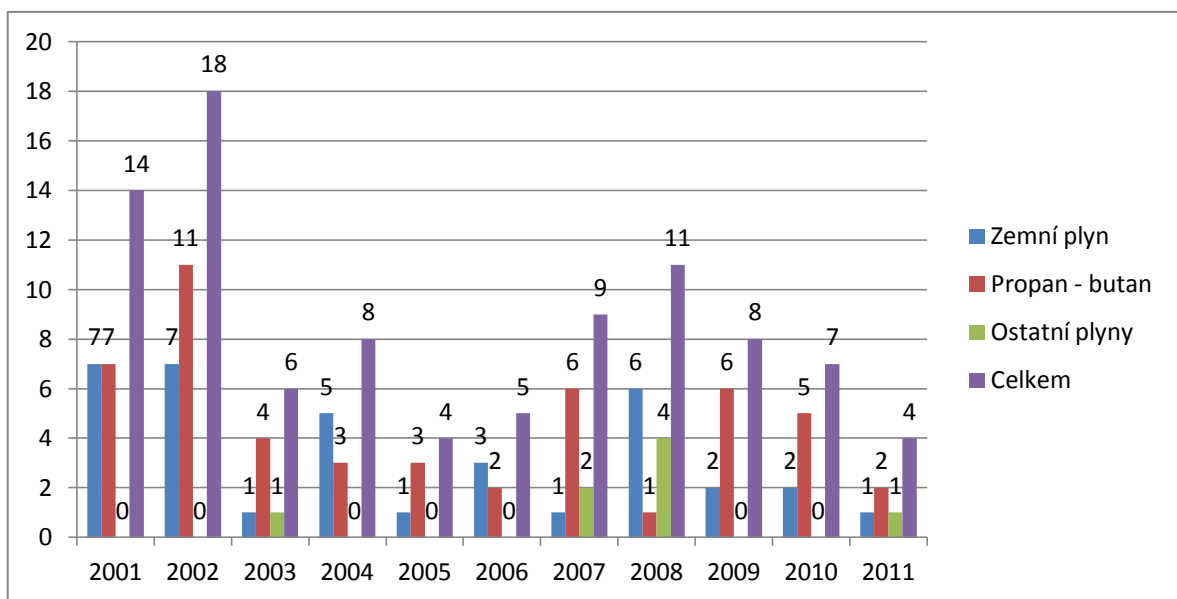
V dalším grafu (1.2) je znázorněno mimo požáru i množství technických zásahů, ke kterým museli jednotky požární ochrany vyjíždět. [37]



Graf 1.2: Počet technických zásahů za roky 2001 – 2011

Technický zásah je souhrn různých událostí. Jedná se nejčastěji o úniky plynů z tlakových lahví, z potrubí, z nádrží, uzavření plynu v bytech při závadách na průtokových ohřívacích. [37]

Ne vždy dojde při technickém zásahu, nebo při požáru k samotnému výbuchu, ovšem je nezbytně nutné se těmito událostmi zabývat, neboť výbuch mívá mnohdy nejfatálnější následky. Na grafu číslo 1.3 je možné vidět počty výbuchů za poslední roky a to z důvodu úniku plynu. [37]



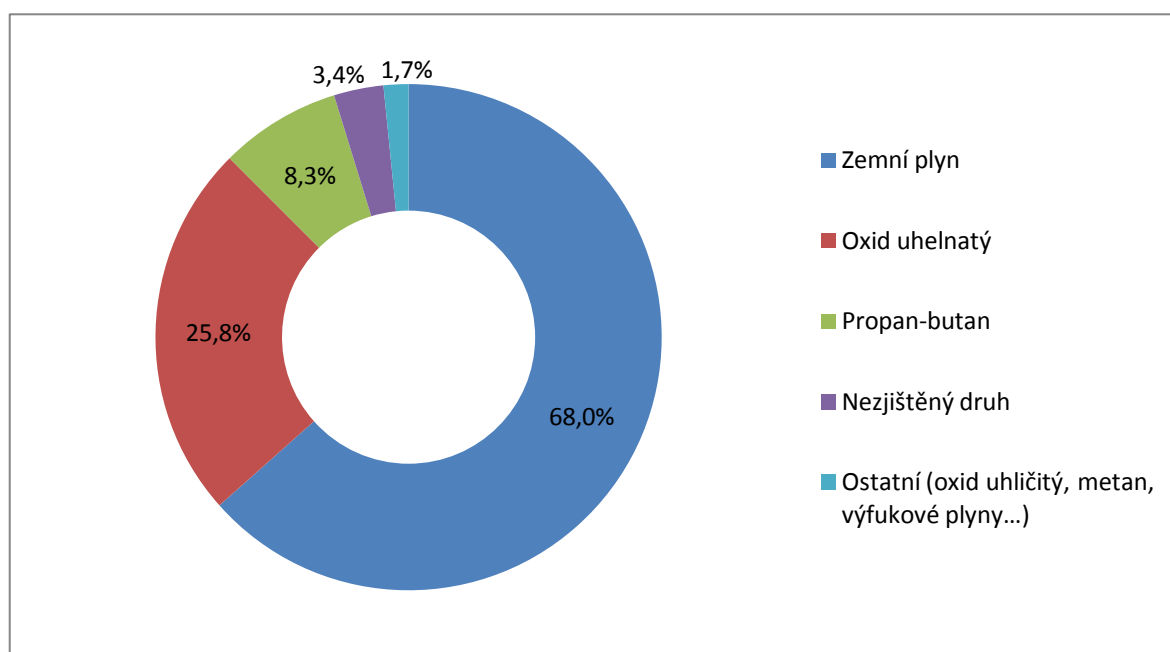
Graf číslo 1.3: Počty výbuchů v letech 2001 – 2011

Dalšími důležitými ukazateli jsou škody na majetku a počty zraněných nebo usmrcených osob v důsledku požáru zapříčiněných únikem plynu. Tyto údaje jsou uvedeny v tabulce číslo 1.1. [37]

Tabulka číslo 1.1: Počty zraněných a usmrcených osob a škody na majetku na území celé ČR

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Počet zraněných osob	53	69	48	58	60	39	47	70	50	42	37
Počet usmrcených osob	2	0	2	11	5	7	3	2	3	3	2
Škoda na majetku v milionech Kč	20,8	28,1	44,6	42,1	16,3	58,5	36,4	39,4	15,1	43,2	27

Pro účely prevence je důležité znát i místa, kde nejčastěji dochází k požárům, respektive kde nejčastěji vznikají požáry z důvodu úniku plynu, nebo závady na plynovodech. V grafu číslo 1.4 je možné vidět podíl druhů uniklých plynů v domácnostech v letech 2012 - 2014. [37] a [44]



Graf číslo 1.4: Podíl druhů uniklých plynů v domácnostech v % v ČR (1.1.2012 - 30.9.2014) [44]

Pro úplnost jsou v tabulce číslo 1.2 uvedeny činnosti, při kterých nejčastěji dochází ke vzniku požáru. [37]

Tabulka číslo 1.2: Činnosti vedoucí ke vzniku požáru

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Neobjasněno, v šetření	6	7	6	13	12	10	9	5	6	5	3
Dále nešetřeno	14	24	22	17	22	15	13	16	20	8	14
Úmyslné zapálení, žhářství	2	7	2	2	1	3	5	4	6	13	0
Hra dětí s ohněm	3	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
Nedbalost dospělých	79	91	73	61	48	58	50	54	38	34	45
špatný stav a instalace topidel	7	6	6	8	10	14	8	3	4	9	8
Provozně technické závady	96	88	92	80	68	79	67	73	58	53	46
Výbuch plynu	14	19	6	10	3	5	9	5	8	7	4
Mimořádné důvody (dopravní nehod, blesk) a jiné příčiny	3	3	9	6	2	2	5	7	6	3	3
<i>Celkem</i>	224	245	217	197	166	186	166	168	146	132	123

1.2 Mimořádné události spojené s únikem plynu za poslední roky v Moravskoslezském kraji

V posledních letech jsou mimořádné události spojené s únikem plynu stále častější. Ať už se jedná o požáry, nebo výbuchy všechny tyto události bohužel ne vždy skončí „pouze“ zraněním osob, ale i usmrcením. V následujících odstavcích budou uvedeny nejznámější události, které se za poslední dobu staly v Moravskoslezském kraji.

Asi nejznámější výbuch za poslední roky je výbuch plynu ve Frenštátě pod Radhoštěm, který se udál v únoru roku 2013. Tato událost byla velice medializována a bohužel si vyžádala i nejvíce obětí na životech. V následující podkapitole (1.3) je tato událost podrobněji rozebrána.

Další výbuch plynu se udál v září roku 2013 a to v Havířově. Jednalo se o obytný dům, ve kterém v té době bylo 27 lidí. Výbuch se odehrál v nejvyšším (4.) patře daného domu. Dům po výbuchu je možné vidět na obrázku číslo 1.1. Při výbuchu se zborčila střecha domu a částečně i obvodové zdi. Pod sutinami domu naštěstí záchranáři nikoho nenašli, takže tato událost si nevyžádala žádnou oběť a patrně ani nebyl nikdo zraněn. Výbuch byl způsoben bývalým podnájemníkem, který v bytě úmyslně pustil plyn, potom zapálil svíčku v jednom z pokojů a odešel. [22]



Obrázek číslo 1.1: Zničený dům po výbuchu v Havířově

Výbuch plynu se stal i v únoru roku 2014, kdy došlo k výbuchu rodinného domu v Ostravě – Martinově. Při výbuchu byl zraněn majitel domku, který byl s těžkým zraněním převezen do nemocnice. Muž po několika dnech na následky výbuchu zemřel. Po výbuchu došlo k menšímu požáru. Na obrázku číslo 1.2 je možné vidět sutiny domu po zásahu hasičů. Výbuch byl patrně zapříčiněn únikem plynu z vadného spotřebiče. [23]



Obrázek číslo 1.2: Trosky domu po výbuchu plynu v Ostravě Martinově

Nejsoučasnější je výbuch celnice v Paskově. Při výbuchu došlo k poničení budovy celnice a ke zranění 9 osob z toho 4 těžce. Na obrázku číslo 1.3 je možné vidět sutiny, které zbyly po celnici. K výbuchu došlo po úniku metanu z potrubí. [24] a [25] a [26]



Obrázek číslo 1.3: Trosky celnice v Paskově

1.3 Únik plynu a následný výbuch panelového domu ve Frenštátě pod Radhoštěm

Výbuch domu, podle kterého je celý model vytvořen a díky kterému se prováděl celý experiment, jenž je hlavním stavebním kamenem práce, se stal dne 17. února roku 2013 a podle svědků přesně ve 3:46 ráno ve Frenštátě pod Radhoštěm. Následkem této události došlo ke zničení třípatrového panelového domu v ulici 6. května číslo popisné 39 (dům před výbuchem je vidět na obrázku číslo 1.4). [14]



Obrázek číslo 1.4: Dům před výbuchem [13]

K výbuchu došlo díky úniku plynu. Tento únik byl proveden úmyslně. Viníkem a taky jednou z obětí je muž, který bydlel v přízemí tohoto domu. Ten nejprve pustil plyn u sebe v bytě, poté šel dolů, kde zamkl obojí vchodových dveří a zalomil v nich klíče, následně pokračoval do sklepa, kde nejdříve založil menší oheň v místě pod schody ve sklepě, kde se nacházel hasičský hydrantový systém, potom vytáhl kuželový ventil plynového potrubí (obrázek 1.5). Po vykonání těchto úkonů se vracel do svého bytu v přízemí. Po cestě, dle svědků nehody, se bavil se sousedem z bytu naproti, a jakmile otevřel dveře svého bytu, tak došlo k výbuchu. Dle hasičů totiž mimo jiné buď založil i požár u sebe v domě, a jakmile došlo k otevření dveří, tak byl plyn v chodbě iniciován, nebo při otevření dveří škrtnul zapalovačem, díky kterému došlo k iniciaci plynu. [16]



Obrázek 1.5: Kuželový ventil plynového potrubí [15]

Důsledkem této události došlo k úmrtí 6 osob a dalších 11 bylo zraněno, načež 2 byli v kritickém stavu. Dům byl několik dní po explozi zdemolován. Ostatní domy, jedná se o řadový dům, nebylo třeba demolovat. Jak dům vypadal po explozi, je možné vidět na obrázku číslo 1.6.



Obrázek číslo 1.6: Zdemolovaný dům

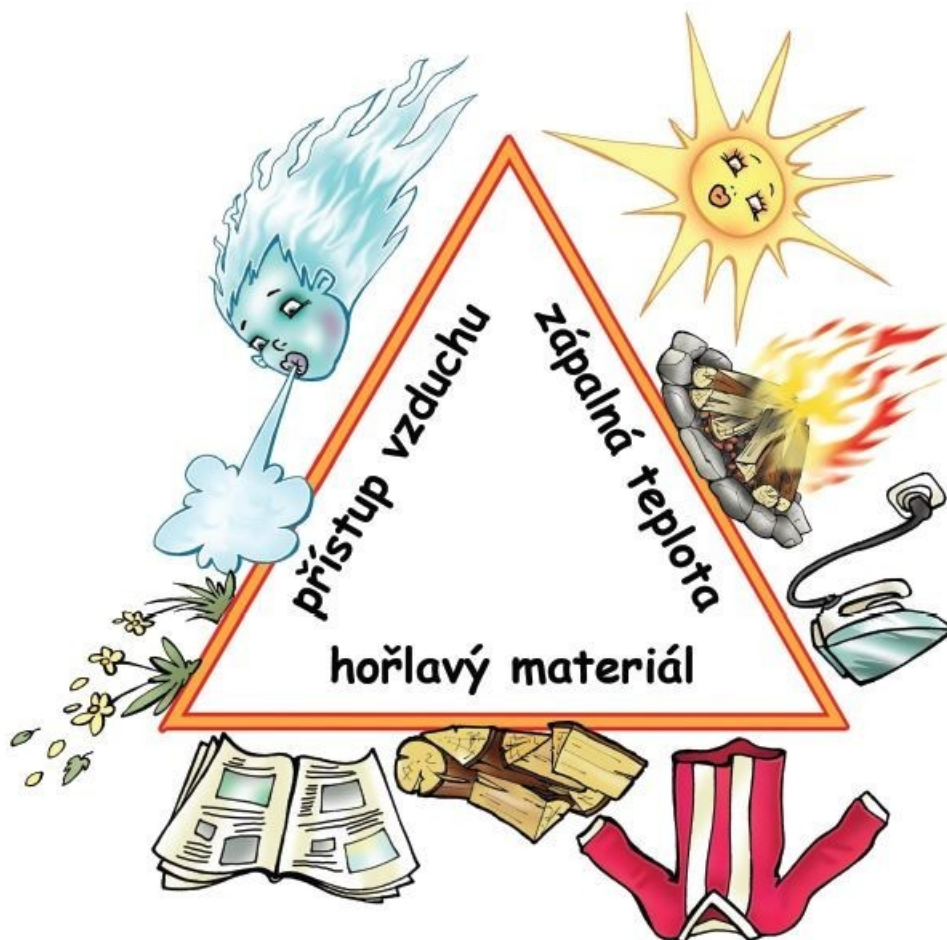
Dnes na místě vybuchlého domu je jen zatravněná plocha a vysázené stromy. Na místě původního domu nebyl postaven nový dům (viz obrázek číslo 1.7).



Obrázek číslo 1.7: Místo výbuchu dnes [18]

2 Palivo

Jedná se o jednu složku z „trojúhelníku hoření“ (viz obrázek číslo 2.1). Pro samotné šetření požáru a hlavně pro předcházení požáru je nesmírně důležité znát vlastnosti paliv (látek), které se v daném místě vyskytují.



Obrázek číslo 2.1: trojúhelník hoření [27]

Palivo je sloučenina chemických látek, které za určitých podmínek můžou hořet. Jedná se o sloučeniny jak hořlavých tak nehořlavých složek (inertní plyn). Co se týče volby paliva, pak je nejvhodnější zvolit paliva s co největším zastoupením hořlavých látek a zároveň s největší výhřevností v kombinaci s co možná nejnižším obsahem škodlivin, které se můžou uvolňovat, čili škodlivých emisí. Paliva se dělí na tuhá, kapalná a plynná. [6]

2.1 Plynná paliva

Hlavním tématem této práce je únik zemního plynu v daném objektu, a proto je v dalších kapitolách věnována pozornost pouze plynným palivům.

Plynné palivo je jakýkoli plyn, který obsahuje hořlavé složky a používá se ke spalovacímu procesu. CO, H₂ a plynné uhlovodíky hlavními strůjci hořlavé části plynných paliv. [9] a [6]

Mezi základní vlastnosti plynných paliv patří zápalná teplota, obsah nečistot v plynu, bod vzplanutí, spalné teplo, tlak plynu, výhřevnost, hustota plynu, měrná hmotnost, vlhkost plynu, měrná tepelná kapacita, meze výbušnosti. [9] a [6]

Jejich fyzikální vlastnosti jsou nestále, protože se hodnoty plynných paliv mění v závislosti na teplotě a tlaku (nedokonalé plyny). Hodnoty fyzikálních vlastností platí pouze za určitého stavu jako je teplota a tlak. [9] a [6]

Co se týče spolehlivosti, tak je plynné palivo jeden z nejspolehlivějších zdrojů energie. Toto palivo je využíváno zejména k ohřevu vody, vytápění a vaření a jedná se o nejsilnějšího konkurenta elektrické energie. Uplatnění plynu začíná být patrné i v dalších oblastech jako je například kombinovaná výroba chladu, tepla a elektrické energie v takzvaných kogeneračních jednotkách. [9] a [6]

2.2 Rozdělení plynných paliv

Existuje mnoho plynných paliv, ovšem v našich podmínkách se zejména používají v domácnostech dva druhy plynných paliv a to zemní plyn a zkapalněný propan butan. Také tyto dva plyny jsou nejčastějším důvodem mimořádné události spojené s požárem nebo výbuchem.

2.2.1 Zemní plyn

Zemní plyn je přírodní směs plynných uhlovodíků s převažujícím podílem metanu a proměnlivým množstvím neuhlovodíkových plynů (zejména inertních plynů). [11]

Zemní plyn je bezbarvý, sám o sobě nezapáchající, hořlavý plyn. Jedná se o plyn z kategorie topných plynů a používá se k vytápění, ohřevu vody, vaření, dále

v elektrárnách, v teplárnách, v dopravě (pohon motorových vozidel). Existují dvě formy zemního plynu a to CNG a LNG. CNG je zkratka anglických slov Compressed Natural Gas, což je stlačený zemní plyn při tlaku 200 barů. LNG je zkratka Liquefied Natural Gas a jedná se o zkapalněný zemní plyn při teplotě $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$. Zemní plyn je nedýchatelný, nejedovatý a lehčí než vzduch. V tabulce číslo 2.1 jsou uvedeny základní vlastnosti zemního plynu. [8]

Tabulka číslo 2.1: Vlastnosti zemního plynu [8]

Výhřevnost	34,08 MJ/m ³
Spalné teplo	37,82 MJ/m ³
Hustota při teplotě: 0°C 20°C	[kg/m ³] 0,730 0,680
Meze výbušnosti	5 – 15 %
Zápalná teplota	650 °C
Množství spalovacího vzduchu	9,56 m ³ vzduchu/ m ³ ZP
Teplota plamene	1 957 °C
Kritický tlak	4 641 kPa
Kritická teplota	-82,1 °C
Kritický objem	0,0061 m ³ /kg

2.2.2 Propan – butan

Jedná se o plyn, který se řadí do skupiny uhlovodíkových plynů se 3 – 4 atomy uhlíku v molekule, které jsou získávány při zpracování zemního plynu a ropy. Jedná se o snadno těkavou, zápalnou kapalinu, která má specifický zápach. Jedná se o plyn, ovšem pokud se mírně zvýší tlak, pak dochází ke stlačení na kapalně skupenství, a obrovské snížení objemu (cca 260x). Z tohoto důvodu se jedná o velice používaný plyn, neboť může být velké množství plynu uskladněno v poměrně malém zásobníku. Propan ani butan nejsou jedovaté a tak při náhodném úkapu nedochází ke znečištění podzemních vod, navíc se téměř okamžitě vypaří. Co se týče emisí, pak je propan – butan srovnatelný se zemním plynem. Vlastnosti zemního plynu je možné vidět v tabulce 2.2.[10]

Tabulka 2.2: Vlastnosti propan – butanu [10]

	Propan	Butan
Výhřevnost	92,989 MJ/m ³	123,76 MJ/m ³
Spalné teplo	101,7 MJ/m ³	133,9 MJ/m ³
Hustota při teplotě: 200°C	[kg/m ³] 502	579
Meze výbušnosti	2,1 – 10,1 %	1,5 – 8,4 %
Zápalná teplota	510 °C	490 °C
Teplota plamene	1 980 °C	1 970 °C
Kritický tlak	4 450 kPa	3 721 kPa
Kritická teplota	95,6 °C	153 °C
Kritický objem	200 cm ³ /mol	255 cm ³ /mol

2.2.3 Oxid uhelnatý

Jedná se o bezbarvý, prudce jedovatý a hořlavý plyn, který je bez zápachu. Vzniká při nedokonalém spalování materiálů s obsahem uhlíku. Nedokonalé spalování uhlíkatých paliv je proces spalování za nízkých teplot a za nedostatečného přístupu vzduchu, načež nedochází k dokonalé oxidaci uhlovodíků a na vodní páru a oxid uhličitý. Oxid uhelnatý je mimo jiné i v cigaretovém kouři. [43]

Oxid uhelnatý se do organismu dostává vdechováním, kdy se přes plicní sklípky dostává do krevního oběhu a váže se na hemoglobin (krevní barvivo) silněji než kyslík. Malé koncentrace mohou způsobit zdravotní potíže lidem, kteří zejména trpí kardiovaskulárními onemocněními (například angina pectoris). [43]

Nejedná se sice o nijak extrémně nebezpečnou toxickou látku, ale jeho rizika na zdraví jsou závažná. Díky tomu, že může přispívat ke vzniku přízemního ozonu v ovzduší, je třeba sledovat jeho emise a systematicky je snižovat. Vlastnosti oxidu uhelnatého jsou v tabulce číslo 2.3. [43]

Tabulka číslo 2.3: Vlastnosti oxidu uhelnatého [43]

Věty R	
R12	Extrémně hořlavý.
R23	Toxický při vdechování.
R48/23	Toxický: nebezpečí vážného poškození zdraví při dlouhodobé expozici vdechováním.
R61	Může poškodit plod v těle matky.
Věty S	
S45	V případě nehody, nebo necítíte-li se dobře, okamžitě vyhledejte lékařskou pomoc (je-li možno, ukažte toto označení).
S53	Zamezte expozici – před použitím si obstarejte speciální instrukce.
Hustota při teplotě:	[kg/m ³]
-191,5°C	0,793
0°C	$1,250 \cdot 10^{-6}$
25°C	$1,145 \cdot 10^{-6}$
Kritický tlak	3 499 kPa
Kritická teplota	-140,23 °C
Kritická hustota	0,301 g/cm ³

Existuje ještě mnoho plynných paliv, která ovšem pro danou práci nemají valný smysl, proto je nebudu dále rozebírat, ale pouze pro informaci je níže vyjmenuji. Jedná se o vodní plyn, koksárenský plyn (svítiplyn), vysokopecní plyn (kychtový), generátorový plyn, spalitelné plynné odpady, bioplyn. [10]

2.3 Plynná paliva a jejich meze výbušnosti

Veškeré hořlavé plyny, které se promíchají s oxidačním činidlem a jsou iniciovány, tak mohou vybuchovat. Meze výbušnosti jsou v daný moment i mezemi zápalnosti a jsou platné pro šíření plamene pro proudící směsi i pro nehybné směsi. Složení směsi plynu a oxidačního činidla způsobí různý rozsah výbuchu a hlavně za různých podmínek, tyto parametry jsou dány horní a dolní mezí výbušnosti. Z toho jasně vyplývá, že pokud je koncentrace mimo tyto meze (hranice), pak k výbuchu nedojde. Směs, která je zhruba

uprostřed těchto mezí tvoří nejideálnější koncentraci pro výbuch. Při růstu množství hořlavého plynu v dané směsi dochází k poklesu množství tepla, které se uvolní a poklesu výbuchové teploty a to na takovou hranici, kdy směs již nevybuchuje. Bezpečná koncentrace je koncentrace menší než 50% dolní meze výbušnosti. [9] a [12]

Výbušné meze jsou závislé zejména na tlaku, teplotě a nehořlavých složkách, které jsou v hořlavé směsi. Inertní složky a rostoucí tlak zužují oblast výbušnosti a rostoucí teplota naopak zvyšuje hodnoty meze zápalnosti. [12]

L_D je dolní mez výbušnosti a jedná se o hodnotu minimálního procentuálního objemového podílu hořlavého plynu, který je ve směsi s oxidačním činidlem a při kterém daná směs již může vybuchovat. [12]

L_H je horní mez výbušnosti a jedná se o hodnotu maximálního procentuálního objemového podílu hořlavého plynu, který je ve směsi s oxidačním činidlem a při kterém daná směs je ještě schopna výbuchu. [9] a [12]

3 Vyšetřování požáru

Z hlediska kvalitního získání dat pro relevantní výpočet a sestavení modelu je nesmírně důležité příčiny požáru vyšetřit. Obecný postup vyšetřování požárů je popsán níže a záleží pouze na zkušenosti vyšetřovatele a charakteru místa činu, jak se bude postupovat při vyšetřování konkrétního místa činu. [2]

Požár je jakýkoli oheň, který způsobí škodu na majetku, nebo vyvolá obecné ohrožení. Jedná se o vysoce nebezpečné mimořádné události ohrožující životy a zdraví lidí a zvířat a způsobující vysoké materiální škody. Vyšetřování požárů je nesmírně důležité z důvodu prověření, zda nebyl požár způsoben trestnou činností, přestupkem anebo jestli nedošlo k požáru v důsledku technické závady. [2]

V mnoha objektech různého druhu a využití požár mění výchozí stav a možnosti využití daných objektů, což díky ekonomickým následkům přímo i nepřímo ohrožuje vlastníka těchto objektů. Jedná se například o nemožnost dalšího řádného provozního využití a navíc jsou touto událostí zasaženy i aktivity blízkého okolí. Z kriminalistické praxe vychází, že tyto události (požáry) jsou a budou hrozícím nebezpečím, které způsobují a způsobí každoročně nárůst hmotných i materiálních škod a to nejen ve veřejné oblasti, ale také v soukromé oblasti. Při vzniku požáru dochází k ohrožení nebo poškození chráněného zájmu společnosti jako je čest, důstojnost a osobní svoboda včetně postavení jedince v pomyslném společenském žebříčku. Důsledkem toho dochází ke ztrátám hodnot soukromého vlastnictví i veřejných materiálních statků. [3]

Mimořádná společenská nebezpečnost požárů je vysoká, i když se u nás dosud jedná pouze zpravidla o činnost pachatelů, například žhářů, kteří jsou izolovanými jedinci páchajícími obvykle tradiční formy kriminality. Bohužel tato kriminální činnost se v budoucnu může stát předmětem vyřizování účtů v kriminálním podsvětí, ale také k rozsáhle destrukci ekonomických základů a to nejen v soukromém vlastnictví, ale i ve veřejném sektoru. [3]

Při zjišťování příčin vzniku požáru je nesmírně důležitá činnost hasičského záchranného sboru. Vyšetřovatelé musí splňovat podmínky odborné způsobilosti a spolupracovat s orgány činnými v trestním řízení. Oprávnění příslušníků HZS při provádění úkonů vyšetřování je stanoveno zákonem číslo 238/2000 Sbírky, o Hasičském záchranném sboru České republiky, ve znění pozdějších předpisů. Pracovník HZS vypracovává ke každému

požáru (kromě požárů dále nešetřených) odborné vyjádření. Rozhodnutí o tom, že se jedná o požár či nikoli) nebo požár dále nešetřený) je vyjádřeno na místě pracovník HZS z odboru nebo oddělení zjišťování příčin požáru. [2]

V každém odborném vyjádření musí být:

- místo, čas a následky požáru,
- popis objekt,
- příčina vzniku požáru, včetně možných verzí,
- okolnosti mající vliv na šíření požáru,
- porušení předpisů o požární ochraně,
- stav požární ochrany a jejího zabezpečení. [2]

3.1 Příčiny vzniku požáru

Příčiny vzniku požáru se dělí do několika skupiny. Při vyšetřování požáru musí vyšetřovatel brát v úvahu všechny možné příčiny vzniku požáru (i ty nejnepravděpodobnější) a až konkrétní vyšetřování určí, co je příčinou požáru.

Skupiny požárů dle vzniku:

- požáry úmyslně založené,
- požáry založené dětmi,
- požáry z nedbalosti,
- požáry od komínových těles,
- požáry od topidel,
- požáry v důsledku technických závad,
- požáry vzniklé v důsledku samovznícení,
- požáry v důsledku výbuchu,
- požáry v důsledku manipulace s hořlavými materiály,
- požáry v důsledku mimořádných příčin,
- požáry dále nešetřené. [2]

3.2 Společný postup Policie České republiky a Hasičského záchranného sboru

Při nahlášení požáru se jednotky Hasičského záchranného sboru a Policie České republiky navzájem informují. Policie české republiky na místo požáru vysílá své hlídky, kdy tyto hlídky provádějí objasňování, zda se jedná o přestupek nebo trestný čin. Pokud ovšem probíhá hasební zásah, pak můžou příslušníci Policie české republiky vstupovat na požářiště jen za souhlasu velitele zásahu, kterým je obvykle příslušník Hasičského záchranného sboru. Policie České republiky navíc spolupracuje i s Požární radou (odborem), která vypracovává Odborné vyjádření o průběhu požáru, které zasílá Policii české republiky. [2] a [3]

Pokud je zjištěno, že se nejedná o trestný čin, ale pouze o porušení povinnosti vyplývajících z předpisů o požární ochraně, pak policejní orgán věc zdokumentuje a kopii úředního záznamu předá požárnímu radovi. Při zjištění, že se jedná o technickou vadu, se postupuje podobně, jako v předchozím případě a po zdokumentování policejní orgán postupuje obvyklým způsobem. [2]

Pokud se na místě činu najdou otravné bojové látky, je činnost Hasičského záchranného sboru upravena. [2]

Po ohledání požářiště se musí sepsat Protokol o ohledání požářiště. Tento protokol se skládá z 3 částí a to úvodní, popisná a závěrečná. [2]

Základní úkony na požářišti

1. Poskytnutí první pomoci osobám zraněným.
2. Opatření k zajištění bezpečnosti majetku a osob.
3. Zajištění místa požáru tak, aby pokud možno nebyly zničeny stopy.
4. Zjištění důležitých svědků a zabránění jejich přímému kontaktu.
5. Zjištění kriminalistického ohniska požáru. [2]

4 Teoretická východiska

V této části práce jsou teoreticky rozebrány veškeré výpočty, které pak jsou v následujících kapitolách řešeny. V první podkapitole jsou navíc vypíchnuty nejdůležitější zdroje, které byly použity pro účely této práce.

4.1 Rešerše

Při psaní diplomové práce byly použity zdroje jak internetové, tak knižní. Při psaní kapitol o únicích plynu a o podobnostech modelů bylo čerpáno zejména z knižních zdrojů a z odborného článku Ing. Zavily. Kapitoly o samotném úniku plynu na konkrétních místech v Moravskoslezském kraji byly popsány podle internetových zdrojů. V části, kde je rozebrán postup při vyšetřování mimořádné události, byl použit jako hlavní zdroj tištěná podoba publikace kriminalistiky. Nejvyšší význam pro tuto práci měly následující zdroje.

ČERNOGURSKÁ, Mária a PŘÍHODA, Miroslav, *Aplikácia dimenzinálnej analýzy pri modelovaní javov v oblasti energetiky*, 1. vydání. Košice: Strojnícka fakulta Technickej univerzity v Košiciach, 214., ISBN 978-80-553-0699-5

Publikace poskytuje informací o hlavních zásadách při uplatňování matematického a fyzikálního modelování v řešení různých technických problémů z oblasti mechaniky tekutin, termodynamiky a energetiky.

CHMELÍK, Jan, a kolektiv, *Rukověť kriminalistiky*, 1. vydání. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk s.r.o., 2005, 532 s., ISBN 80-86898-36-9

Publikace se zabývá jednotlivými základními taktickými postupy, které jsou uplatňovány během vybraných důkazních prostředků. Jedná se o praktickou příručku, která má za úkol pomoci policejním orgánům v praxi.

SKRIPTUM: Modely a modelování [online]. Skriptum [15.3.2014]. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~bri10/Teaching/Statistika%20II/skriptum/1_Modely_a_modelovani.PDF

V publikaci je uvedeno, jak se dělí modely a jak vytvořit samotný model. Jsou zde popsána pravidla nezbytná při stavbě samotného modelu a jednotlivé odlišné přístupy při samotném procesu modelování.

CRHA, Petr, Plynárenská příručka: 150 let plynárenství v Čechách a na Moravě. 1. vydání. Praha: Gas s.r.o, 1997. s. 1192. ISBN 80-902339-6-1.

Tato příručka se zabývá veškerým plynárenstvím u nás. Pro potřeby diplomové práce byla vybrána pouze jedna kapitola, která pojednává o postupech stanovení množství unikajícího plynu z plynovodu.

ZAVILA, O. Physical Modelling of Gas Pollutant Motion in the Atmosphere. In Liu, C. Advances in Modeling of Fluid Dynamics. Rijeka: In Tech, 2012, s. 51 - 78.

Jedná se o odborný článek, který se zabývá podobnostními čísly při stavbě modelu.

4.2 Modely

V této kapitole budou shrnuty charakteristiky modelů jako nástrojů pro zobrazení skutečnosti, popsány procesy modelování, provedena klasifikace základních modelů, vysvětlen pojem matematický model a stochastický a deterministický model, popsány přístupy modelování, jako je dedukce, indukce a reprodukce. [1]

4.2.1 Teorie modelu

V odborné literatuře se pojem model vyskytuje poměrně často. Díky rozvoji kybernetiky je teorie modelu a modelování stále významnější a nachází uplatnění v nejrůznějších oborech. Problematika modelování zahrnuje velké množství různých otázek, takže je třeba se zaměřit jen na ty, které přímo a nepřímo souvisí s použitím statistických metod. Díky různým názorům na obecnou podstatu modelů, jejich klasifikaci a funkci není utvořena ucelená teorie s přesně vymezenou a jednotnou terminologií. Konstrukce modelů a pravidla těchto konstrukcí jsou vázána na řešení konkrétních úloh praktického rázu a teoretické roviny, a proto je třeba při posuzování metodologických otázek k této skutečnosti přihlédnout.

Při pozorování procesů a jevů reálného světa si lidé uvědomují, že je v naprosté většině případů nejsou zcela schopni vysvětlit. Jen velmi obtížně postihují zákonitosti jejich vzniku a ještě hůř jsou schopni pochopit nebo aspoň proniknout do vazeb a souvislostí, které mezi těmito ději vznikají.

Modelování je tvůrčí lidská činnost, při které jsou děje reálného světa zjednodušovány a idealizovány. Většina autorů se shoduje v tom, že model musí být chápán jako určitá forma zobrazení skutečnosti. Rozdíly jsou pouze v tom, jaká je modelovaná skutečnost, jaké jsou modelovací prostředky a k jakému účelu bude model sloužit.

Původ slova model je ve stavitelství a označuje zde míru, podle které se vyjadřují proporce stavby. Později dostal pojem model zásadní nový význam. Nemusí se však jednat pouze o zobrazení skutečnosti v její objektivní podobě, ale může se jednat o určitou idealizaci. Mnohdy je výhodnější pracovat s modelem než se skutečností z důvodu, že jsou v těchto případech lépe ovládaná pravidla modelovací techniky než pravidla nezachytitelné nebo přímo nepozorovatelné skutečnosti.

Gnozeologická podstata modelování vyplývá ze zákona přírody a z historicky vzniklé schopnosti abstrahovat shodné vlastnosti různých objektů. Existence souvislostí mezi objekty nám umožňuje nepřímo sledovat objekty prostřednictvím jiných objektů. Mnohoznačný pojem je možné charakterizovat jako zjednodušenou formu zobrazení podstatných rysů zkoumaného úseku reality. Model sestává podle pravidel dovolující napodobování chování i vlastnosti zobrazované reality. Díky modelu nejsou získávány pouze poznatky zkoumané reality, ale také je možné rozvinout teorii zkoumané oblasti. Při studiu modelu je možné vyvodit poznatky o zobrazované skutečnosti pouze v případě, že mezi modelem a skutečností existuje obdoba nezbytná pro poznávání skutečnosti.

Činnost konstruování modelu se nazývá modelování. Díky modelování často dochází k matematické teorii, jež umožňuje vysvětlovat a objevovat jednotlivé souvislosti, které může i částečně zobecnit. Takovýto popis neopravuje a ani neodstraňuje chyby způsobené nedokonalostí modelu samotného. [1]

4.2.2 Možná klasifikace modelů

Jak již vyplývá z předchozí kapitoly, slovo model má mnoho významů. Někteří autoři si dokonce dali tu práci a sestavili seznamy desítek výkladů samotného významu pojmu model. Dokonalá definice tohoto pojmu se dnes neobejde bez aparátu matematické logiky a teorie množin. Rozdílné výklady a přístupy najdeme v přírodních vědách, v logice, ve společenských vědách, v technických vědách, v kybernetice, nebo v jiných disciplínách.

Východiskem při třídění modelu může být modelovaná skutečnost a prostředky modelování, taktéž i charakter cílů, kterým konstrukce modelu slouží. [1]

Rozlišení myšlenkových modelů od materiálních je velice snadné. Materiální modely zobrazují reálné a existující objekty, myšlenkové modely jsou spíše teoretické a existují jen v lidském vědomí. Myšlenkové modely se dále třídí na představové modely vytvořené idealizací skutečnosti podle představ nebo hypotetickou konstrukcí, a na symbolické modely, které jsou vytvářeny symboly a znaky. Modely této skupiny jsou velice blízko modelům, kde mají rozhodující význam matematické a logické vlastnosti a jsou nazývány modely formální i logické nebo též matematické. [1]

4.2.3 Matematický model a modelování

Matematický model lze taktéž chápat ve více významech. Obvykle se jedná o formalizovanou teorii, občas i její matematické zobrazení, ovšem často bývá také (a to nepříliš šťastně) matematickým modelem označován jakýkoli kvantifikovaný popis vybraných stránek skutečnosti. Úspěch matematického modelování mimo jiné závisí i na lidských schopnostech formalizovat praktické i teoretické poznatky o zkoumaném úseku reality. Jedná se o nalezení takového matematického aparátu, který odpovídá modelované skutečnosti a přitom respektuje úhel, ke kterému byl model konstruován. [1]

Je důležité, aby matematický model (stejně jako každý jiný model) znázorňoval jevy a procesy reálného světa objektivním způsobem. Matematický model vyjadřuje zákonitosti procesů a jevů, a to jak v oblasti praktické lidské činnosti, tak v oblasti vědeckého poznávání. Zajímavostí je, že i přestože matematické modely neobsahují žádné vztahy, které do nich nebyly vloženy, tak poskytují poznání do nich nevědomě vloženo. Matematické modely pomáhají k poznání tím, že naznačí anebo dokonce umožní dokázat obecné výsledky, které se nacházely v souborech pozorování, ale nebyly z daných souborů zřejmé. Mohou dávat inspiraci a podněty pro budoucí bádání. [1]

Matematický model lze zjednodušeně definovat jako formu zobrazení některých aspektů jevů a procesů reálného světa matematickými prostředky. Za takový prostředek může být brána například soustava rovnic obsahující konstanty (parametry) a proměnné (veličiny). [1]

4.2.4 Některé typy matematických modelů

Třídít matematické modely je možné z různých hledisek. Nejdůležitější je dělení na stochastické a deterministické modely. Deterministické modely mají povahu zákonitostí, které platí vždy (pokud jsou dodrženy určité předpoklady), čili vyhovují každé konkrétní empirické situaci. Deterministické modely jsou charakteristické postavením všech veličin v modelu, jenž je nesporné, a konkrétní hodnoty jsou pevně dané číselné řady. U deterministického modelu je známa hodnota parametrů i jeho struktura popsána algebraickou nebo diferenciální rovnicí. Pro odlišení deterministických a stochastických vztahů není podstatné, zda se k matematickému modelu došlo logickým důkazem, kdy závěry vyplynuly přímo z předpokladu, nebo zobecněním provedeným na základě empirických zkušeností.

Pokud se vezme v úvahu Newtonův pohybový zákon – dráha „y“ urazí předmět za dobu „t“ pak existuje zjednodušená rovnice číslo 4.1.

$$y = vt - \frac{at^2}{2} \quad (4.1)$$

Konstanty „v“ a „a“ jsou počáteční rychlost a tíhové zrychlení. Tuto rovnici je možné vyvodit také vhodnou úpravou diferenciální rovnice, anebo zobecněním výsledků pozorování čili induktivním způsobem. Při deduktivním vyjádření vylučujeme a zobecňujeme některé parametry, jako je například odpor vzduchu, ale znalost hodnot „v“ i „a“ je přesná, kdežto při induktivním způsobu vyjádření respektujeme chyby měření „y“, „t“ (respektive „Y“, „T“) a další činitele, kteří způsobí, že platnost rovnice je přibližná. Tímto způsobem vstupuje do rovnice prvek nejistoty a jedná se už o model stochastický (rovnice číslo 4.2).

$$Y = vT - \frac{aT^2}{2} \quad (4.2)$$

Model stochastický je na rozdíl od deterministického modelu modelem přibližným a s určitou pravděpodobností. Stochastické modely bývají označovány jako modely pravděpodobnostní.

Pro stochastické modely je charakteristické, že dovolují poměrně přesnou matematickou manipulaci se vztahy mezi veličinami, i když ve skutečnosti platí tyto vztahy pouze přibližně.

Při konstrukci stochastického modelu se setkáváme s potížemi vyplývajícími z nejistoty, které se týkají i některých zcela základních otázek. [1]

4.2.5 Fyzikální model a modelování

Fyzikální modely lze rozdělit ještě do dvou podskupin a to na fyzikální umělé modely a fyzikální přirozené modely. Fyzikální modely jsou svou podobností a také svým informačním obsahem nejbližší podobnost. Informace získané takovým způsobem modelování jsou mnohem užitečnější a jejich váha je mnohem vyšší, než je tomu u modelů, které pracují na principu matematické podobnosti. [1]

Přirozené fyzikální modelování

Jedná se o způsob modelování, kdy samotný objekt, který je zkoumaný (originál) se stává během experimentu modelem, což znamená, že daný experiment probíhá přímo na originále, načež hlavní nástroje jsou měřicí přístroje a výpočetní technika. Takový způsob experimentu je často velice nákladný, časově náročný a v neposlední řadě také velice složitý. Během experimentu bývají veškerá měřítka modelování jednotková (tzn. měřítka na originálu = měřítka na modelu), podobnosti a jiné zákonitosti podobnosti fyzikální jsou uplatňována při zpracovávání výsledků experimentu, což znamená při zobecňování informace modelové na další fyzikálně podobné systémy. [5], [40], [41]

Umělé fyzikální modelování

Bývá uskutečňováno za použití objektu umělého, tedy fyzikálního modelu, jenž splňuje podmínky fyzikální podobnosti. „Fyzikální jevy jsou si podobné, je-li dodržena geometrická podobnost modelu a díla v odpovídajících si bodech a poměr veličin charakterizujících fyzikální děj je vždy konstantní.“ [5], [40], [41]

Těžiště je v přímém experimentu, čili tak jako tomu bylo i u přirozeného fyzikálního modelování, v tomto případě se však jedná o model a hlavními nástroji jsou znovu měřicí technika a výpočetní technika. V celém průběhu modelování jsou uplatňována kritéria podobnosti i další prostředky teorie podobnosti, to je od návrhu modelu po zpracování výsledků a jejich aplikace na další fyzikálně podobné systémy. Výsledky měření z fyzikálního modelu jsou přepočítávány na dílo s využitím měřítek modelování (tzn.

konstant podobnosti), které jsou určené z rovnosti kritérií odpovídajících si v podobnosti pro model a originál. „Experiment s fyzikálním nebo přirozeným modelem přináší nejspolehlivější informace o vlastnostech zkoumaného systému [5], [40], [41]

4.2.6 Přístupy k modelům a modelování

Podle Pearsona určité vědní disciplíny spočívá v samotných metodách této disciplíny a nikoli v oblasti, kde jsou tyto metody používány. Což znamená, že i pokud je třeba respektovat některá specifika různých vědních oborů, tak typy úsudků používané v jisté oblasti zkoumání svou podstatou nejsou zásadně odlišné od podobně utvořených úsudků v dalších oblastech. [1]

Aristoteles vyjádřil 3 typy vědeckých úsudků a to retroduktivní, induktivní a deduktivní. Při dedukci se postupuje od obecného k zvláštnímu, čili to je typ úsudku, nebo metoda zkoumání, kdy závěry jednoznačně vyplývají z určitých pravidel a předpokladů. Při induktivní úvaze se postupuje obráceně než při deduktivní úvaze, takže od konkrétního k obecnému (od reality k modelu). Nejspornější je retroduktivní forma úsudku, při které se na základě zkušeností pouze vyvozuje možnost výskytu určitého jevu nebo se předpokládá průběh určitého procesu a hledá se teoretické zdůvodnění nepozorovatelných skutečností. [1]

4.3 Teorie podobnosti

V praxi se často používá modelování (a modely), kdy je třeba určit správný postup pro dané modelování. Některé zákonnosti při modelování byly získány až díky metodě pokusů. Proto je důležité zabývat se i Teorií podobností.

Je to fyzikálně matematická metoda, která se může použít k řešení diferenciálních rovnic, kterými je popsán fyzikální proces, a ke zpracování výsledků experimentů. Je možné tuto teorii použít i v případě, že je matematické vyjádření sledovaného jevu neznámé a dílčí řešení je pro daný problém uspokojivé. Jedná se o vhodnou syntézu experimentu a teorie. Touto metodou je možné získat matematický popis zkoumané soustavy v obecném tvaru kritériální rovnice. Pokud není možné úplnou fyzikální rovnici přímo řešit, případně pokud rovnice není známá, pak je možné k popisu fyzikálního jevu použít kritériální rovnici.

Je možné každý fyzikální proces popsat rovnicí, zpravidla se jedná o diferenciální rovnici. Daná rovnice má ovšem nekonečně mnoho řešení, neboť obecně popisuje celou třídu jevů. Proto je třeba znát i podmínky jednoznačnosti, aby mohl být popsán konkrétní jev.

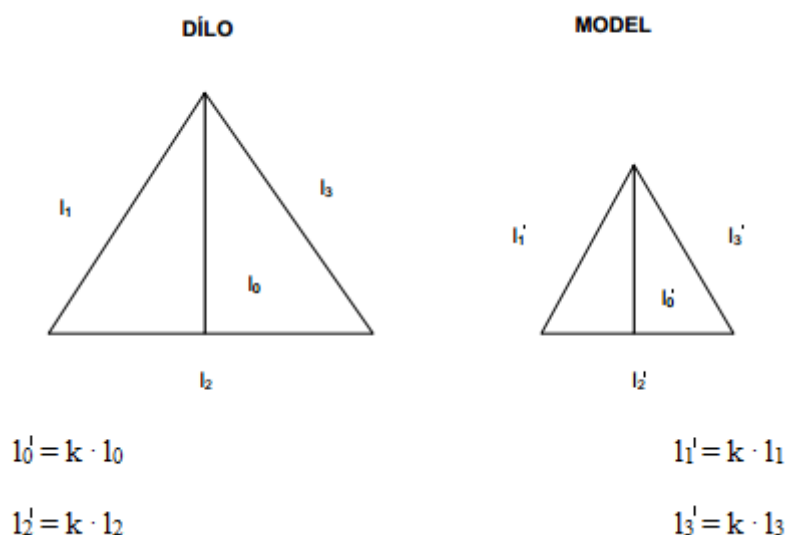
Pokud jsou známy výše uvedené podmínky a fyzikální rovnice, pak je to postačující pro jednoznačné řešení a definování úlohy. To ovšem neznamená, že je možné vždy takové řešení nalézt pomocí matematických prostředků. Proto je pro složité případy používáno experimentální řešení. Na základě experimentu se hledá empirická závislost mezi jednotlivými veličinami charakterizujícími daný proces. Tento empirický vztah je ovšem platný pouze pro podmínky, ve kterých experiment probíhal a není možné jeho mechanické použití pro jiné obdobné děje. Zobecnění výsledků na podobné případy musí vždy vycházet teorie o podobnosti jevů. Tato zmíněná skutečnost je nesmírně důležitá při procesech a jevech, u kterých ještě nebyla sestavena fyzikální rovnice. I v takových případech je nutné použití experimentu pro řešení, načež výsledky zobecnit při použití zákonů podobnosti. [5] a [42]

4.3.1 Geometrická podobnost

„Geometrické obrazce jsou podobné, mají-li příslušné úhly stejné a příslušné strany jsou úměrné.“, *jak tvrdí Janičková (2008, strana 44)*. [5]

Každý objekt může být zmenšen nebo zvětšen. V geometrickém zobrazení si jsou podobné objekty, pokud se změní jejich velikost, ale nikoli jejich tvar. Z toho vyplývá, že všechny čtverce, kružnice a rovnostranné trojúhelníky jsou si podobné. Podobné si můžou být i různostranné trojúhelníky, pokud je velikost jejich 2 úhlů stejná. Naopak podobné si nejsou v geometrickém zobrazení elipsy nebo hyperboly. [5] a [42]

Pro určení změny velikosti daného předmětu existuje konstanta podobnosti. Pomocí této konstanty je zachycován poměr odpovídajících si veličin (viz obrázek číslo 4.1), kdy je v podobných soustavách konstantní. Konstanta k má vždy stejnou velikost. Tato konstanta se nepoužívá pouze pro geometrická zobrazení, ale pro všechny typy podobností. [5] a [42]

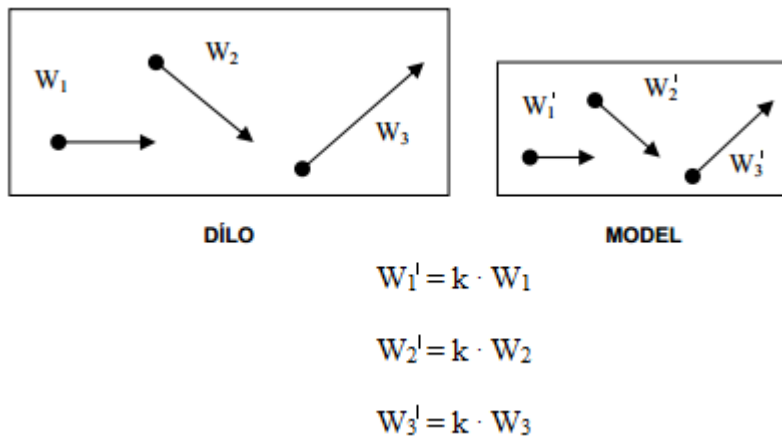


Obrázek číslo 4.1: Geometrická podobnost [5]

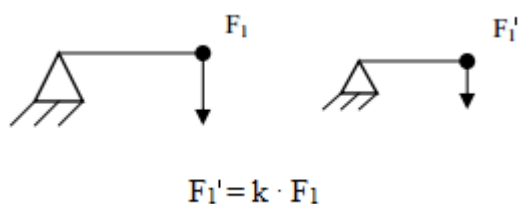
4.3.2 Fyzikální podobnost

„Fyzikální jevy jsou si podobné, je-li poměr odpovídajících si veličin charakterizujících nějaký děj v odpovídajících si místech modelu a díla vždy konstantní.“, *jak tvrdí Janičková (2008, strana 45).* [5]

Existují zde 2 typy podobností a to mechanická a tepelná. Mechanická podobnost se dále dělí na dynamickou a kinematickou podobnost. Při kinematické podobnosti se jedná o podobnost proudění médií (viz obrázek číslo 4.2), což znamená, že si jsou rychlosti podobné v odpovídajících bodech. U dynamické podobnosti se jedná o podobnost sil, které způsobují podobné pohyby, což znamená, že si jsou síly v odpovídajících bodech podobné (viz obrázek číslo 4.3). Tepelná podobnost je podobnost tepelných vodivostí, teplot, tepelných toků apod. [42]



Obrázek číslo 4.2: Kinematická podobnost [5]



Obrázek číslo 4.3: Dynamická podobnost [5]

Konstanta podobnosti

Jedná se o konstantu, která byla popsána již v předchozí kapitole, ovšem v tomto případě je doplněna o nezbytné pojmy, neboť k vyjádření je třeba dvou soustav. Pro stejnojmenné veličiny má ve všech bodech podobných soustav konstantní hodnotu. Pro různojmenné veličiny má pro podobné soustavy hodnotu různou. [5]

Věty (teorémy) podobnosti

Během provádění experimentů je důležité vědět, které veličiny budou měřeny, jak budou zpracovány výsledky experimentu a jaké jiné děje jsou považovány za podobné (stanovení hranice platnosti experimentu). Veškerá výše zmíněná kritéria jsou řešena větami podobnosti. [5] a [42]

1. věta podobnosti

„U podobných dějů jsou kritéria v odpovídajících si bodech číselně stejná.“, *jak tvrdí Janičková (2008, strana 47)*. [5]

První věta podobnosti řeší první kritérium, čili že během experimentu musí být měřeny ty veličiny, které jsou v odvozených kritériích. [5]

2. věta podobnosti

Diferenciálními rovnicemi je popsáno mnoho fyzikálních dějů, které byly integrovány jen ve zvláštních případech. Bylo dokázáno, že kritéria podobnosti odvozená z diferenciálních rovnic a z integrálů (řešení) těchto rovnic jsou stejná. Integrál může být vyjádřen jako funkce kritérií, které jsou výsledkem rovnic, jež charakterizují daný proces. [5]

Druhá věta podobnosti řeší to, že výsledky experimentu musí být zpracovány tak, že jsou stanoveny závislosti mezi kritérii podobnosti a ne mezi jednotlivými veličinami. [5]

3. věta podobnosti

Třetí věta podobnosti řeší poslední kritérium, stanovuje hranice platnosti experimentu. Jsou zde udávány podmínky podobnosti dějů. [5]

„1. podmínka: Podobné jsou děje probíhající v geometricky podobných soustavách, pro něž platí tytéž vztahové rovnice (jsou algebraicky shodné). [5]

2. podmínka: Ze souhrnu jevů, pro něž platí táž vztahová rovnice, se vymezí určitý jev tím, že se připojí podmínky jednoznačnosti (monovalentnosti) řešení, které jev vymezí z celého souhrnu jevů. Tyto podmínky jsou tytéž u všech podobných jevů (jsou v číselně stálém poměru), jen se budou lišit číselné hodnoty veličin v nich vystupujících. [5]

3. podmínka: Kritéria podobnosti vytvořená z podmínek jednoznačnosti se musí u podobných dějů rovnat.“, *jak tvrdí Janičková (2008, strana 47)*. [5]

4.3.3 Jednoduchý postup pro určení podobného děje

Zde jsou uvedeny podmínky, aby byl děj 1. (dílo) podobný ději 2. (modelu):

- dodržovat geometrické tvary díla a modelu,

- musí být změněny fyzikální konstanty charakterizující děj podle zákonů v samotném díle,
- veličiny si musí odpovídat v podmínkách jednoznačnosti modelu a díla a musí být úměrné v odpovídajících bodech modelu a díla,
- konstanty podobnosti musí být vybrány tak, aby určující kritéria mohla být v odpovídajících si bodech díla a modelu číselně stejná.

Pokud budou splněny všechny výše uvedené podmínky, pak bude model podobný dílu, to znamená, že si ve všech odpovídajících bodech díla a modelu budou všechna kritéria podobnosti číselně stejná a veškeré veličiny, které charakterizují daný děj, budou vůči sobě úměrné. [5] a [42]

4.4 Nejistoty měření

Po správném sestavení modelu je třeba správně vyhodnotit výsledky měření. Hlavně nejistot (chybovost), které se během měření mohou vyskytnout. [20]

Dnes se během měření vyjadřuje zejména nejistota měření. Jedná se o komplexní posouzení měření, neboť se jedná o nejistoty celého řetězce měření. Řetězec může být rozdělen na několik článků a to fyzikální jev, etalon, kalibrační postup, měřidlo a rušivé vlivy při měření. [20]

Často se v řetězci využívá nepřesnost jen jednoho článku řetězce. [20]

Existují dva typy nejistot a to typu A, typu B. Více nejistot je v řetězci měření sčítáno geometricky, někdy se provádí výpočet hodnot, které jsou hodnotami krajními. [20]

4.4.1 Nejistota typu A

Jedná se o nejistotu, která je zapříčiněná mnoha náhodnými, leč malými, vlivy. Je – li počet měření aspoň 10, pak je určení nejistoty stejné jako stanovení chyby (kapitola 4.5). Pokud je počet měření menší jak 10, pak se násobí daná chyba daným koeficientem (viz tabulka číslo 4.1), neboť při menším počtu měření se snižuje i věrohodnost nejistoty, načež daný koeficient věrohodnost kompenzuje. [20]

Tabulka číslo 4.1: Rozšiřující koeficient [20]

Počet měření n	10	9	8	7	6	5	4	3	2
Koeficient k_A	1,0	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,7	2,3	7,0

4.4.2 Nejistota typu B

Její charakter není náhodný. Pokud se měření opakuje, pak se obvykle vyskytuje pravidelně. Jedná se o nedokonalosti způsobené technikou, měřicím přístrojem, podmínkami, konstantami, metodami, které vznikají během měření, nebo jsou způsobené přímo operátorem. Při určení se odhaduje maximální možný rozsah odchylek, který vznikne od naměřené hodnoty a to nejlépe tak, aby se v tomto intervalu skutečná hodnota opravdu vyskytovala. [20]

Pokud je stanoveno více nejistot, pak je možné výslednou nejistotu v měřicím řetězci získat tak, že se provede geometrický součet. Výsledná korelace jednotlivých zdrojů nejistot typu B není brána v úvahu. [20]

4.5 Chyby měření

Jedná se o klasickou koncepci stanovení chybového intervalu a kdysi se jednalo o jedinou možnou koncepci určení chybovosti. V současnosti se jedná o součást zpracování nejistoty měření. Dělí se na 3 kategorie a to na hrubé chyby, systematické chyby a náhodné chyby. [20]

4.5.1 Hrubé chyby

Tyto chyby bývají způsobeny nesprávným zapsáním výsledku, nesprávným nastavením podmínek měření, výjimečnou příčinou, náhlým selháním měřicího přístroje apod. Tyto hodnoty, které jsou naměřeny a spadají do této kategorie, jsou značně odlišné od všech ostatních naměřených hodnot. Tyto hodnoty musí být vždy ze zpracování vyloučeny a to z důvodu, aby nezkreslovaly výsledek. [20]

4.5.2 Systematické chyby

Tato chyba je k měřené hodnotě přičítána (násobena apod.). Výsledek měření je konstantě touto chybou ovlivněn a ovlivnění je jedním směrem (vždy stejné). Toto ovlivnění se může s časem měnit a to zejména z důvodu stárnutí měřicího přístroje. Pokud je tato chyba známa, pak je možno ji korigovat. Největší problém této chyby je obvykle její kvantifikace a identifikace. Výsledek musí být po správné identifikaci a kvantifikaci opraven. [20]

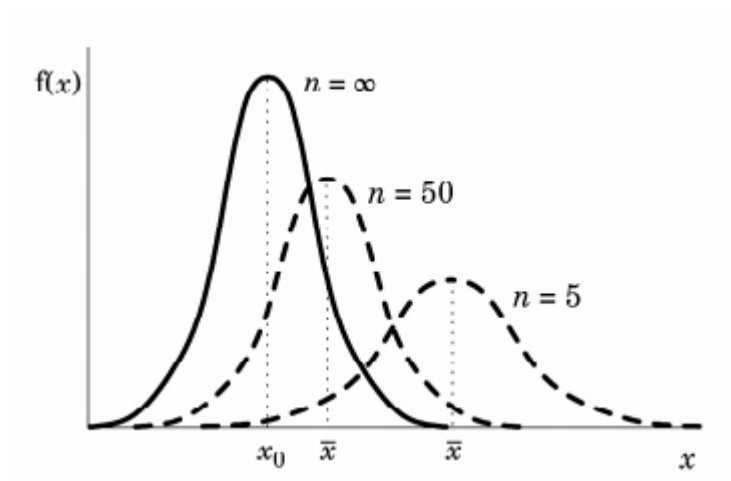
Odhalení systematické chyby je obvykle velice náročné. Nejdůležitější je uvědomění si, zda daná chyba nevychází přímo z metody měření, poté dochází zpravidla k její matematické korekci. Jednou z metod zjištění chyby je srovnání měření s jinou metodou měření. Dalším možným způsobem upozornění na chybu je zjištění, že teoretický průběh neodpovídá skutečnosti. [20]

4.5.3 Náhodné chyby

Nejčastěji se jedná o malé množství malých rušivých účinků ovlivňujících výslednou hodnotu. Statistická rozdělení elementárních zdrojů chyb mohou být obecná, ve výsledném součtu se zpravidla přibližují Gaussovu průběhu rozdělení. [20]

Tuto chybu není možné stanovit z jednoho měření. Měření musí být provedeno vícekrát a hodnoty musí být zpracovány pomocí statistických metod, které určí rozložení náhodných chyb. [20]

5 – 10 měření je minimální počet, který umožňuje statistické zpracování. Co se týče maximálního počtu měření, tak ten je omezen pouze časem, náklady apod. Pokud se měření opakuje stokrát, pak už opakované měření výsledek nijak nezpřesní. Vše je patrné z obrázku číslo 4.4. [20]



Obrázek číslo 4.4: Vliv počtu měření n na hodnotu x [20]

4.5.4 Zaokrouhlování

Naměřená hodnota nebo výsledek nejsou shodné s počtem desetinných míst, které je odpovídající přesnosti měření. Výsledek se musí zaokrouhlit dle velikosti chybového intervalu. Zaokrouhlení je obvykle v nižším řádu, než je řád chybového intervalu, což znamená od 0 do 4, přičemž poslední cifra, která je platná, zůstává a od pětky nahoru se přičítá jednička. Hodnota chybového intervalu se zaokrouhluje nahoru na jednu platnou cifru, pokud interval začíná číslicemi 1 nebo 2, pak se zaokrouhluje na dvě platné cifry a to taktéž nahoru. Pokud není dostatečně platný počet cifer, pak se cifry doplní nulami. [20]

5 Postup modelování a měření

V následující kapitole bude popsána samotná stavba modelu a vyhodnoceny výsledky experimentu. V první části bude dopodrobna popsán proces přípravy na stavbu modelu a pak jednotlivé kroky stavby modelu. V další části pak budou přehledně vypsány výsledky měření i s jejich primárním vyhodnocením.

5.1 Model

Na základě dat získaných od Hasičského záchranného sboru byl sestaven model domu, ve kterém došlo k již zmíněné mimořádné události. Tento model byl sestaven z polystyrenu a to zejména z důvodu lehké manipulovatelnosti a finanční nenáročnosti.

Díky podkladům od HZS bylo možné určit přesné rozměry celého objektu a podle těchto rozměrů model zmenšit na požadovaný poměr. Zmenšení modelu se provedlo na 18,7% původního domu. Celý objekt byl nejdříve překreslen pomocí programu AutoCAD.

V prvním podzemním patře jsou sklepní prostory, kde jsou úložné boxy, prádelna a obchod. V tomto patře se nachází koncovka potrubí (obrázek potrubí je v první kapitole, jedná se o obrázek číslo 1.5), odkud unikl plyn. V prvním patře se nachází byt, ve kterém žil člověk, jenž způsobil celou událost.

Pro správné sestavení modelu bylo potřeba nejdříve propočítat přesné rozměry modelu, čili bylo potřeba matematicky propočítat velikost daného modelu dle předlohy. Poté následoval propočet množství potřebného materiálu.

Samotná stavba modelu trvala zhruba měsíc a byly použity polystyrenové dílce o šířkách 1, 3 a 5 centimetrů.

Modelovány byly pouze místnosti, ve kterých se předpokládalo vniknutí plynu. Jednalo se o první podzemní podlaží, odkud plyn unikl, dále se jednalo o schodišťové rameno v celé jeho velikosti a v neposlední řadě se jednalo o byt v prvním patře, kde se nacházel již zmíněný nájemník, který celý incident zapříčinil. Předpokládá se, že ostatní místnosti byly zavřené a tudíž k vniknutí plynu do těchto místností nemohlo dojít. V prvním podzemním podlaží se jedná pouze o místnost prádelny, chodbu a sklepní boxy.

V další fázi následovala montáž „potrubí“, odkud plyn vnikal do celého objektu. Pro tuto část byla zvolena měděná trubka, která byla opatřena stejnou koncovkou, pochopitelně procentuálně zmenšenou, jež byla v originálním potrubí zničeného domu. Jednalo se o potrubí a hlavně koncovku, které měly vnitřní poloměr 13 mm. Koncovku, která byla namontována na modelové potrubí, je možné vidět na obrázku číslo 5.1.



Obrázek číslo 5.1: Koncovka potrubí na modelu

Následovalo určení rozmístění čidel, která určovala koncentraci plynu v jednotlivých místnostech. Těchto čidel bylo dohromady 10. Jednalo se o 5 čidel dvoustupňových, která měřila koncentraci plynu při překročení limitu 10% a 20% meze výbušnosti (označené M1 – M5). Druhá skupina 5 třístupňových čidel měřila koncentraci 10%, 20% a 50% meze výbušnosti (označené V1 – V5).

Co se týče samotných čidel, pak se jedná o samostatná čidla, která jsou vhodná pro průmyslové i komerční užití. Jsou to neselektivní žhavená polovodičová čidla. Dvoustupňová čidla jsou typu GC20 (obrázek číslo 5.2) a třístupňová čidla jsou typu GI30 (obrázek číslo 5.3). [34] a [35]



Obrázek číslo 5.2: Dvoustupňové čidlo GC20 [34]



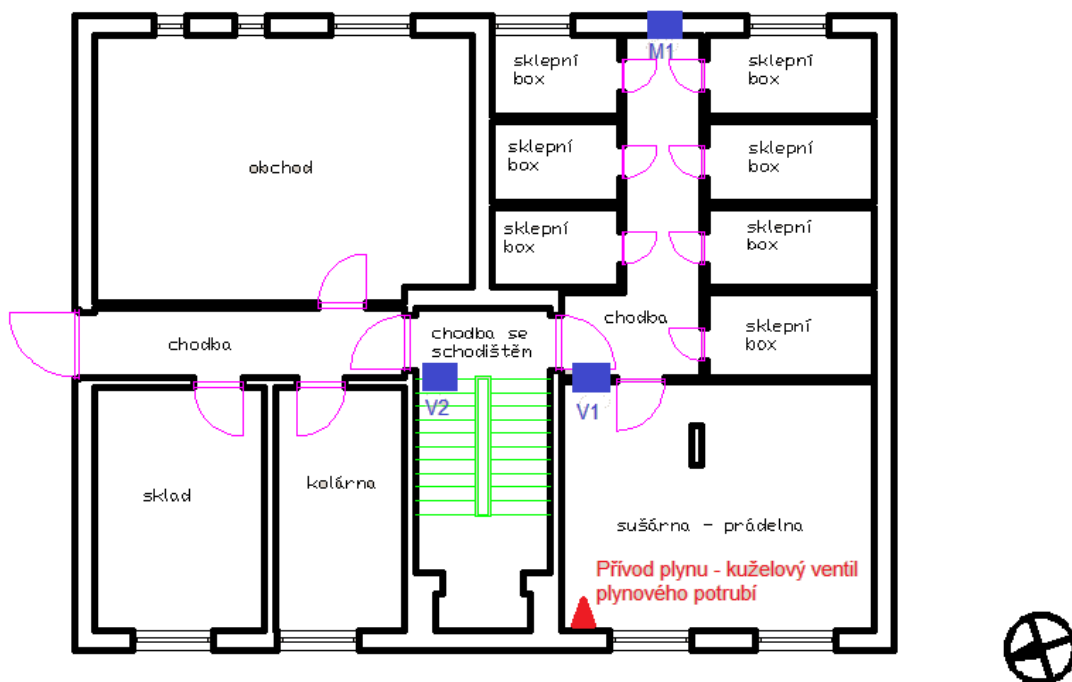
Obrázek číslo 5.3: Třístupňové čidlo GI30 [35]

Dvoustupňová čidla byla rozmístěna na střeše kóji sklepa, u dveří severního bytu v 1. patře, ve 2. a 3. patře schodišťového ramena a pod nejvyšším stropem schodiště. Třístupňová čidla byla u stropu sklepa přímo naproti potrubí, odkud plyn unikal, ve sklepě pod schodištěm, kde se nacházel hydrant pro hašení požárů a kde se předpokládá, že byl založen malý požár, u hlavních vchodových dveří od domu, na dveřích bytu nájemníka, který požár způsobil a na stropě nejvyššího patra schodiště.

Na obrázcích číslo 5.4 – 5.6 jsou čidla zakreslena modrým popisem, který se skládá ze značky čtverečku, písmena a číslice. Písmeno znázorňuje, jestli se jedná o dvoustupňové čidlo „M“, nebo o třístupňové čidlo „V“. Číslice za daným písmenem je označení pořadí

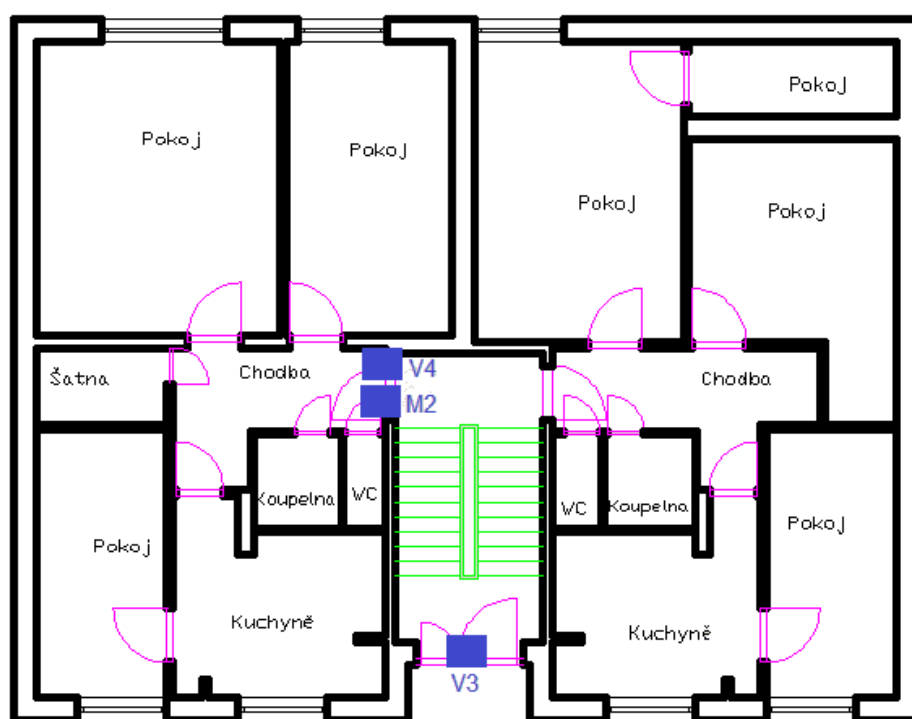
daného čidla, a toto pořadí sloužilo pro lepší orientaci při měření a následném zápisu koncentrace plynů v jednotlivých patrech a místnostech.

Čidla, která se nachází v 1. podzemním patře (sklep), jsou zakreslena na obrázku číslo 5.4. Čidlo V1 bylo umístěno ve stropě modelu a přesně uprostřed mezi dveřmi do sušárny a obvodovou zdí schodiště, čili přesně 95,5 mm od již zmíněných dveří. Čidlo bylo umístěno tak, aby lícovalo na vnitřní zeď sušárny. Čidlo M1 bylo umístěno taktéž ve stropě a bylo umístěno tak, aby lícovalo vnitřní zeď chodby. Navíc bylo dáno tak, aby bylo uprostřed mezi dvě sklepními boxy, čili 134 mm od levého nebo pravého sklepního boxu. Čidlo V2 bylo umístěno v místě pod schody. Bylo umístěno tak, aby přívod vzduchu do čidla byl umístěn z vnitřní strany chodby se schodištěm. Čidlo bylo umístěno 32 mm od zárubní dveří směrem blíže ke schodům a 243 mm od podlahy. Tyto dveře spojují chodbu vedoucí do obchodu, skladu a kolárny a chodbou se schodištěm. Zmenšený přívod plynu je v severozápadním rohu sušárny ve výšce 242 mm od podlahy. Nachází se na západní stěně 85 mm od vnější strany severní zdi sušárny. Pro lepší orientaci je vše možné vidět na již zmíněném obrázku 5.4.



Obrázek číslo 5.4: Umístění čidel a přívodu plynu v 1. podzemním patře (sklep)

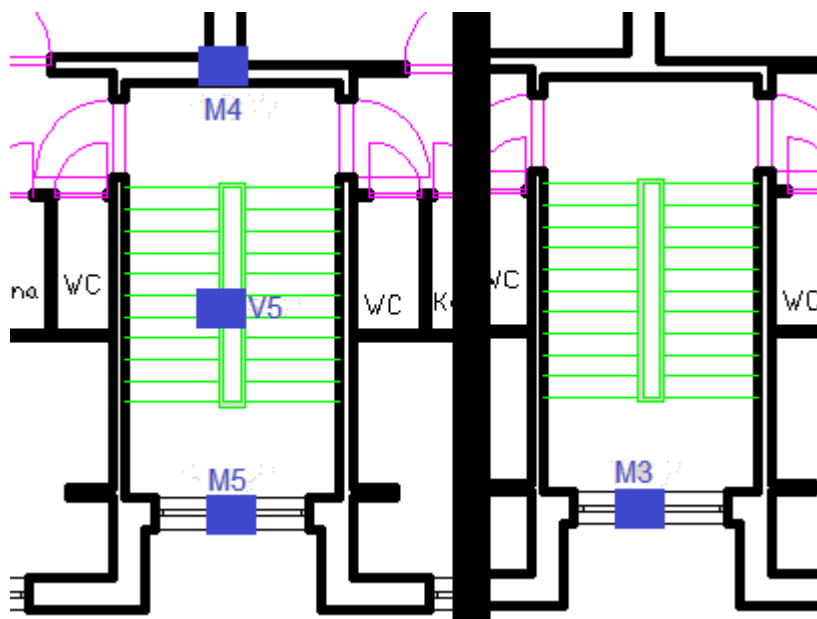
Na obrázku číslo 5.5 jsou čidla z 1. patra a přívod plynu, který je zakreslen červeným trojúhelníkem. Čidlo V3 je umístěno těsně pod stropem 1. patra v místě, kde se nachází vchodové dveře do domu. Je dáno uprostřed mezi zárubněmi dveří, čili 168 mm od levé příruby, nebo pravé příruby. Čidla M2 i V4 jsou umístěna 242 mm od podlahy prvního patra. Jsou umístěna v hlavních dveřích severního bytu, čili ve dveřích spojujících byt a chodbu se schodištěm. Čidlo M2 je 32 mm od příruby dveří blíže ke schodišti a je situováno směrem do chodby se schodištěm. Čidlo V4 je taktéž 32 mm od příruby dveří, ale na druhé straně dveří a taktéž je situováno do chodby se schodištěm. Pro lepší orientaci je vše možné vidět na již zmíněném obrázku číslo 5.5.



Obrázek číslo 5.5: Umístění čidel v 1. nadzemním patře

Na obrázku číslo 5.6 jsou pak znázorněna čidla z 2. patra a z 3. patra. Vlevo je znázorněno umístění čidel ve 3. patře a vpravo umístění čidel ve 2. patře. Čidlo M3 je umístěno u stropu 2. patra schodiště a nachází se 168 mm od levého nebo pravého rámu okna (viz obrázek 5.6). Čidla M4, V5 a M4 se nachází ve stropě 3. Patra schodiště a jsou ve stejné rovině, čili nachází se přesně uprostřed mezi severním a jižním bytem, což znamená 168 mm od levého nebo pravého rámu okna pro čidlo M5 a pro čidla M4 a V5 233,5 mm od

vnější zdi severního nebo jižního bytu. Čidlo M4 je umístěno tak, aby lícovalo východní zeď schodiště (naproti oknu chodby se schodištěm) a bylo uvnitř chodby se schodištěm. Čidlo V5 je 451,5 mm od východní zdi chodby se schodištěm.



Obrázek číslo 5.6: Umístění čidel v 2. nadzemním patře a v 3. nadzemním patře

Po rozmístění čidel bylo třeba zajistit rychlost proudění plynu, která by se zmenšila k poměru, kterým byl zmenšen daný objekt (model). Tohoto bylo dosaženo pomocí samostatného měřicího přístroje (průtokoměru), který měřil odběr plynu za čas.

Proces měření a postup měření

Samotné měření probíhalo 10x a to zejména z důvodu časové a finanční náročnosti měření. Před samotným měřením bylo třeba zjistit okolní teplotu, tlak a hustotu vzduchu. Dále bylo třeba nasměrovat zařízení, které pořizovalo obrazový záznam tak, aby snímalo panel, na kterém se rozsvěcovaly diody, které určovaly koncentraci plynu v jednotlivých místnostech.

Pro přesné měření tlaku v plynovodu byl použit jednoduchý diferenční tlakoměr v kapesním formátu typ Testo 510 (viz obrázek číslo 5.7).



Obrázek číslo 5.7: Testo 510 [30]

Pro stanovení okolní teploty, okolního tlaku a okolní vlhkosti byl použit přístroj termohygrometr a barometr s označením Testo 622 (viz obrázek číslo 5.8).



Obrázek číslo 5.8: Testo 622 [31]

Pro měření plynu byl použit membránový plynoměr G6 (viz obrázek číslo 5.9). Tento plynoměr se používá pro měření spotřeby běžných plynů jako je svítiplyn, zemní plyn, vzduch, butan, propan, dusík, vodík, inertní plyny. [32]



Obrázek číslo 5.9: Membránový plynoměr G6 [32]

Další přístroj, který byl pro daný experiment použit byl přístroj, který měřil únik plynu z daného objektu díky netěsnosti. Díky tomuto přístroji měl být zajištěn téměř nulový únik plynu mimo žádoucí prostory. Jedná se o přístroj GI-03M (viz obrázek číslo 5.10), který je určen k vyhledávání a lokalizaci míst úniku spalitelných plynů v prostorech bez nebezpečí výbuchu. Přístroj je kalibrován metanem a je vhodný pro vyhledávání úniku propan – butanu, zemního plynu a jiné. [33]



Obrázek číslo 5.10: Indikátor hořlavých plynů GI-03M

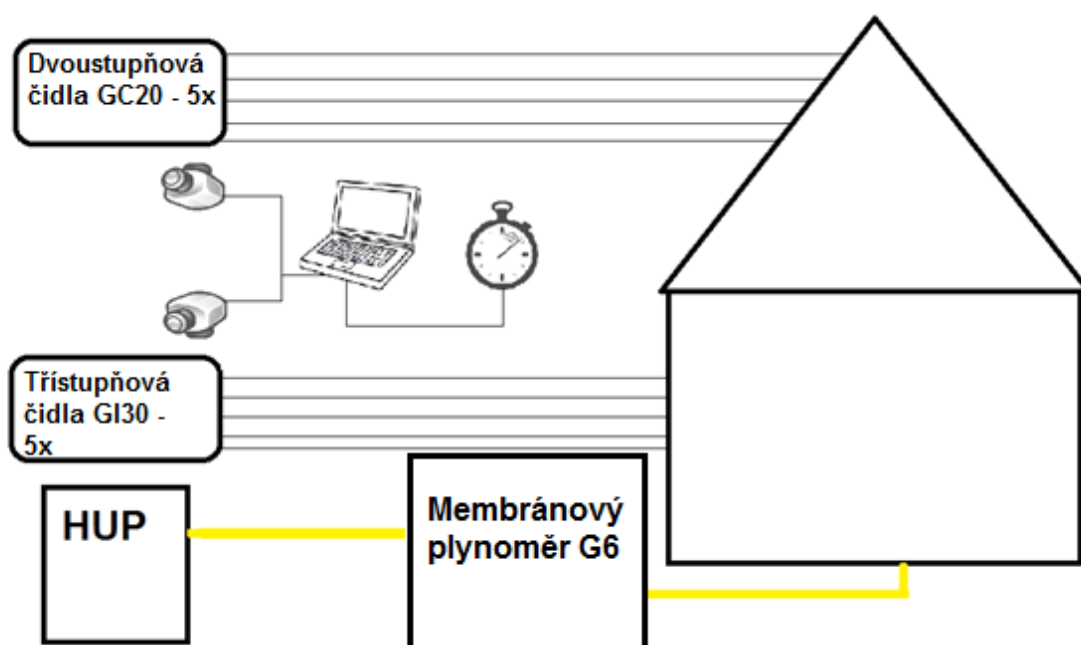
Postup:

- 1) Složení modelu
- 2) Kontrola těsnosti modelu
- 3) Spuštění přívodu plynu
- 4) Puštění časomíry

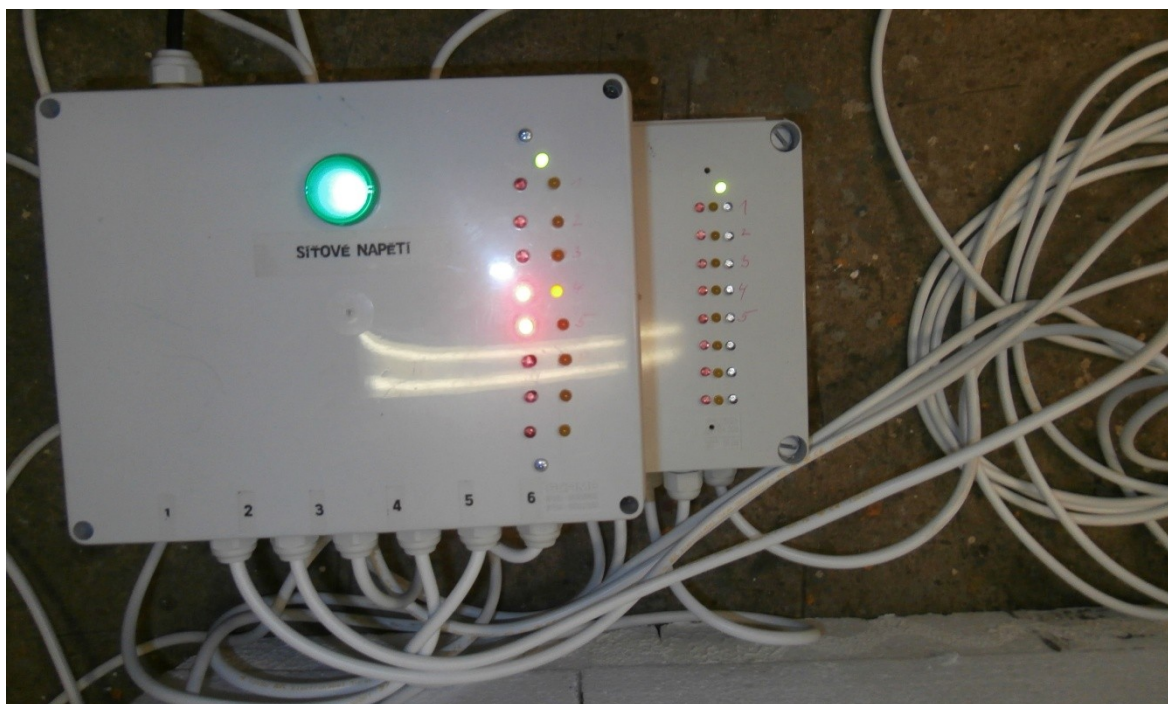
- 5) Po rozsvícení všech diod zastavení časomíry
- 6) Zastavení přívodu plynu
- 7) Rozebrání modelu
- 8) Odvětrání místnosti
- 9) Zapsání časů rozsvícení jednotlivých diod dle videozáznamu
- 10) Opakování procesu od bodu 1)

Bod 9) „Zapsání časů rozsvícení jednotlivých diod dle videozáznamu“ probíhalo tak, že byl puštěn videozáznam z měření. Tento videozáznam sledoval a zaznamenával, za jak dlouho se jednotlivé diody rozsvítí, čili kdy dojde k naplnění místností plynem do dané koncentrace. Po rozsvícení některé z diod došlo k zapsání času, kdy se dioda rozsvítila, čili za jak dlouho se dané místo naplnilo plynem na danou koncentraci. Tento postup probíhal tak dlouho, dokud se nerozsvítily všechny diody a opakoval se u všech měření. Jak vypadalo rozsvícení diod, je možné vidět na obrázku 5.12, je zde i možné vidět, jak vypadalo zapojení všech čidel do stanice.

Schéma zapojení celého experimentu je možné vidět na obrázku číslo 5.11.



Obrázek číslo 5.11: Schéma experimentu



Obrázek číslo 5.12: Síťové zapojení čidel

Časy z měření jsou znázorněny v tabulkách číslo 5.1 – 5.2.

Tabulka číslo 5.1: Časy z měření dvoustupňových čidel

Čidlo M1 - 10%	Čidlo M1 - 20%	Čidlo M2 - 10%	Čidlo M2 - 20%	Čidlo M3 - 10%	Čidlo M3 - 20%	Čidlo M4 - 10%	Čidlo M4 - 20%	Čidlo M5 - 10%	Čidlo M5 - 20%
0:00:33	0:00:34	0:01:41	0:01:42	0:01:46	0:01:47	0:02:37	0:02:42	0:01:58	0:02:02
0:00:30	0:00:31	0:01:19	0:01:35	0:01:38	0:01:39	0:02:34	0:02:37	0:02:01	0:02:02
0:00:29	0:00:30	0:01:32	0:01:34	0:01:37	0:01:40	0:02:30	0:02:42	0:02:03	0:02:06
0:00:31	0:00:32	0:01:32	0:01:35	0:01:39	0:01:46	0:02:37	0:02:50	0:02:01	0:02:17
0:00:29	0:00:30	0:01:32	0:01:35	0:01:37	0:01:52	0:02:40	0:02:54	0:01:57	0:02:02
0:00:31	0:00:32	0:01:35	0:01:37	0:01:37	0:01:44	0:02:36	0:02:43	0:02:04	0:02:14
0:00:30	0:00:31	0:01:32	0:01:34	0:01:38	0:01:45	0:02:33	0:02:43	0:01:57	0:02:11
0:00:29	0:00:30	0:01:31	0:01:33	0:01:38	0:01:49	0:02:30	0:02:47	0:01:54	0:02:07
0:00:29	0:00:30	0:01:32	0:01:34	0:01:41	0:01:52	0:02:38	0:02:46	0:02:05	0:02:14
0:00:29	0:00:30	0:01:32	0:01:34	0:01:41	0:02:03	0:02:37	0:02:46	0:01:57	0:02:16

Tabulka číslo 5.2: Časy z měření třístupňových čidel

Čidlo V1 - 10%	Čidlo V1 - 20%	Čidlo V1 - 50%	Čidlo V2 - 10%	Čidlo V2 - 20%	Čidlo V2 - 50%	Čidlo V3 - 10%	Čidlo V3 - 20%	Čidlo V3 - 50%	Čidlo V4 - 10%	Čidlo V4 - 20%	Čidlo V4 - 50%	Čidlo V5 - 10%	Čidlo V5 - 20%	Čidlo V5 - 50%
0:00:17	0:00:22	0:00:28	0:03:06	0:03:44	x	0:01:16	0:01:26	0:02:16	0:01:30	0:01:49	0:02:31	0:02:30	0:02:31	0:02:32
0:00:21	0:00:24	0:00:35	0:02:44	0:03:09	x	0:01:11	0:01:22	0:02:11	0:01:29	0:01:53	0:02:24	0:02:16	0:02:55	0:04:15
0:00:17	0:00:21	0:00:26	0:03:09	0:03:12	x	0:01:06	0:01:16	0:01:59	0:01:24	0:01:39	0:02:13	0:02:11	0:02:46	0:03:40
0:00:22	0:00:23	0:00:26	0:02:32	0:03:14	x	0:01:08	0:01:14	0:02:00	0:01:19	0:01:43	0:02:13	0:02:15	0:02:48	0:03:33
0:00:19	0:00:21	0:00:25	0:02:29	0:02:42	0:03:35	0:01:06	0:01:12	0:01:52	0:01:18	0:01:40	0:02:06	0:02:15	0:02:42	0:03:27
0:00:22	0:00:23	0:00:27	0:02:36	0:02:54	0:04:16	0:01:09	0:01:15	0:02:00	0:01:24	0:01:39	0:02:12	0:02:11	0:02:45	0:03:35
0:00:21	0:00:23	0:00:28	0:02:25	0:02:44	0:03:33	0:01:09	0:01:14	0:01:58	0:01:19	0:01:39	0:02:09	0:02:16	0:02:40	0:03:35
0:00:20	0:00:22	0:00:27	0:02:20	0:02:38	0:03:20	0:01:05	0:01:12	0:01:53	0:01:15	0:01:33	0:02:09	0:02:04	0:02:41	0:03:26
0:00:20	0:00:22	0:00:26	0:02:23	0:02:34	0:03:26	0:01:06	0:01:10	0:01:48	0:01:19	0:01:41	0:02:05	0:02:08	0:02:35	0:03:20
0:00:20	0:00:21	0:00:25	0:02:22	0:02:32	0:03:19	0:01:04	0:01:10	0:01:51	0:01:13	0:01:30	0:02:06	0:02:12	0:02:34	0:03:21

První tabulka znázorňuje časy z měření dvoustupňových čidel a v řádcích je znázorněno pořadí pokusů. V tabulce číslo 5.2 jsou výsledky z měření na třístupňových čidlech, která měřila koncentraci až do 50% výbušné koncentrace.

Celý experiment a samotná stavba modelu probíhaly v dílně společnosti UNIMETAL - engineering, s.r.o. V této dílně se nachází veškeré potřebné vybavení pro daný experiment. Mimo napojení na přívod plynu je zde i potřebná vzduchotechnika, díky které docházelo k odvětrávání plynu a téměř okamžitému snížení koncentrace plynu pod hodnotu, při které nehrozí nebezpečí výbuchu. Navíc experiment probíhal s maximální ostražitostí a během experimentu byly v dílně zcela omezeny veškeré rizikové práce. Na obrázku číslo 5.13 je vidět model v dílně, ke kterému jsou připojena veškerá čidla, kterými se měřila koncentrace.

Z obrázku je patrné, že bylo postaveno první přízemní patro (sklepní prostor), které je na obrázku z bílého polystyrenu. Dále bylo postaveno i první nadzemní podlaží, respektive celý severní byt, který nakonec pro účely daného experimentu nebyl využit. Další část a nejspíš i nejdůležitější část tvoří schodišťové rameno, kde se plyn šířil nejvíce. Přes tuto část domu se plyn šířil do všech pater. Na obrázku je schodišťové rameno postaveno růžovým polystyrenem.

Všechna čidla jsou napojena na hlavní stanici, kde je možné pozorovat rozsvěcování diod podle toho, jak se plyn šířil do jednotlivých částí domu. Veškeré změny na panelu s diodami je zaznamenáváno pomocí videokamery, která je napojena na laptop, na který jsou tyto záznamy ukládány.

Každé experimentální měření probíhalo vždy až v době, kdy byla místnost i model dokonale odvětrány, aby bylo každé měření vždy za co nejméně odlišných podmínek. Pro zjištění, zda se v místnosti, nebo v modelu nenachází zbytkový plyn, bylo použito měřicího přístroje „Indikátor hořlavých plynů GI-03M“.



Obrázek číslo 5.13: Model

5.2 Výsledky výpočtů

Po sestavení modelu bylo vypočítáno teoretické šíření plynu v objektu. Tento výpočet byl nejdříve proveden pro samotnou předlohu, čili pro dům v reálné velikosti a následoval výpočet pro daný model. Pro stanovení množství unikajících plynu byl stanoven jako nejvhodnější postup dle technického doporučení TDG 903 01. Vzorec pro výpočet množství je uveden níže (vzorec číslo 5.1). [38]

$$Q_p = S \times \frac{P_p + P_b}{P_b} \times \alpha \times v \times t \times \frac{1}{z} \quad (5.1)$$

Q_p : množství uniklého plynu [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

S : plocha otvoru [m^2]

P_p : provozní tlak plynu [bar]

P_b : atmosférický tlak vzduchu [bar]

α : průtokový součinitel [-]

v : stanovená průměrná průtoková rychlost [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

t : doba trvání úniku [s]

z : kompresibilitní faktor, pro typické složení zemního plynu v ČR při vztažné teplotě pro plynovody s tlakem do: 60 barů = 0,860; 40 barů = 0,930; 20 barů = 0,965; 4 barů = 0,995; 20 mbarů = 1.

Stanovení průměrné průtokové rychlosti je možné dvěma způsoby a to buď podle tlaku v potrubí a určení průměrné hodnoty, kdy vysokotlaké plynovody mají hodnotu 405 [m/s], středotlaké plynovody mají hodnotu 300 [m/s], nízkotlaké plynovody mají hodnotu 75 [m/s], anebo podle vzorce z plynárenské příručky, kdy se rychlost určí přesně podle zadaných kritérií (vzorec číslo 5.2). [28]

$$v = \sqrt{\frac{2k}{k-1} \times \frac{R \times T}{M} \times \left[1 - \left(\frac{P_b}{P_b + P_p} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]} \quad (5.2)$$

v : stanovená průměrná průtoková rychlost [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

k : adiabatický exponent [-]

R : univerzální plynová konstanta [$\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

T : teplota plynu v potrubí [K]

M : molární hmotnost [-]

P_p : provozní tlak plynu [bar]

P_b : atmosférický tlak vzduchu [bar]

Během úniku plynu je důležité zjistit i dobu, za kterou se daný objekt naplní. K tomuto účelu byl použit vzorec určující dobu naplnění objektu, který není větraný (vzorec číslo 5.3). [45]

$$\tau = \frac{LEL \times k_B \times V}{100 \times Q_p} \quad (5.3)$$

τ : doba potřebná pro vytvoření nebezpečné koncentrace [s]

LEL : dolní mez výbušnosti (v tomto případě koncentrace) [objemová %]

k_B : bezpečnostní koeficient (v tomto případě 1) [-]

V : objem místnosti [m^3]

Q_p : množství uniklého plynu [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

Postupy a příklady výpočtů jsou uvedeny ve vzorcích číslo 5.4, 5.5 a 5.6. Plocha otvoru se spočítala klasicky jako π vynásobené druhou mocninou poloměru otvoru, odkud unikál plyn. Provozní tlak plynu v potrubí byl zjištěn pomocí měření a atmosférický tlak je daný. Průměrná průtoková rychlost byla spočítána podle vzorce 5.2. Adiabatický exponent je pro zemní plyn určen z tabulek. Univerzální plynová konstanta je určena z tabulek. A molární hmotnost plynu byla také zjištěna z tabulek.

$$Q_p = 0,0038 \times \frac{0,018+1,01325}{1,01325} \times 1 \times 72,2693 \times 1 \times \frac{1}{1} = 0,283 \text{ m}^3 \times \text{s}^{-1} \quad (5.4)$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \times 1,31}{1,31-1} \times \frac{8,314 \times 293,15}{0,0164} \times \left[1 - \left(\frac{1,01325}{1,01325+0,018} \right)^{\frac{1,31-1}{1,31}} \right]} = 72,2693 \text{ m} \times \text{s}^{-1} \quad (5.5)$$

$$\tau = \frac{5 \times 1 \times 173,5}{100 \times 0,283} = 30 \text{ s} \quad (5.6)$$

Výpočty vzorců 5.3, 5.4 a 5.6 jsou pro reálný objekt. Vzorec 5.6 je spočítán pro 5% koncentraci první místnosti (suterénu).

Po určení těchto dvou základních rovnic následoval samotný proces na konkrétní objekt, jak již bylo zmíněno v prvním odstavci. Výsledky z výpočtů je možné vidět v tabulce číslo 5.3. Jedná se o teoretické výpočty. Pro stanovení výtokové rychlosti (v) se postupovalo podle vzorce z plynárenské příručky (vzorec číslo 5.2), aby byly výsledky co nejpřesnější. Únik plynu byl zapříčiněn z potrubí o velikosti DN70. Výtoková rychlost v tomto případě vyšla $72,27 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Atmosférický tlak plynu byl určen na 0,018 bar.

Tabulka číslo 5.3: Výpočet množství uniklého plynu - objekt

Název místnosti	Velikost místnosti (m ³)	Množství uniklého plynu za 1 sekundu (m ³)	Doba úniku k naplnění místnosti do 5% (mm:ss)	Doba úniku k naplnění místnosti do 0,5% (mm:ss)	Doba úniku k naplnění místnosti do 1% (mm:ss)	Doba úniku k naplnění místnosti do 2,5% (mm:ss)
Suterén	173,5	0,3	00:30	00:03	00:06	00:15
Schodišťové rameno	133,4	0,3	00:23	00:02	00:05	00:12
Byt v 1. patře	174,4	0,3	00:31	00:03	00:06	00:15
Všechny místnosti	481,3	0,3	01:24	00:08	00:17	00:42

Jak je z tabulky patrné, tak k naplnění všech místností na dolní mez výbušnosti by trvalo zhruba 1 minutu a 24 sekund. Podle informací od HZS by k této koncentraci došlo za zhruba 14 minut a 30 sekund. Je třeba dodat, že informace ohledně výpočtu a množství šíření plynu v daném objektu, které byly pro tuto práci k dispozici, nebyly ucelené, a tudíž není možné určit, proč se tyto výsledky tak liší. Je docela možné, že HZS počítal s tím, že k naplnění místností dojde pomaleji z důvodu snížení výtokové rychlosti z důvodu překážek v proudění, jedná se zejména o zdi, záhyby, případně jiné překážky v objektu. Nejspíš by došlo k naplnění jen místností u stropu a plyn by se dále šířil do ostatních pater domu. Plyn je lehčí než vzduch, proto se nejdříve zaplní místnost u stropu. Podle vyjádření svědků a technické zprávy HZS došlo k výbuchu daného objektu, čili k naplnění objektu na minimálně dolní mez výbušnosti (5%) do 30 minut. Proto je tento teoretický výpočet nepřesný a není možné s ním 100% počítat při určování meze výbušnosti.

Výsledky pro teoretické šíření plynu ve zmenšeném modelu daného objektu je možné vidět v následující tabulce (tabulka číslo 5.4). Všechny hodnoty v tabulce, hlavně ty výsledné vychází opět ze stejných vzorců. Akorát hodnota „Množství uniklého plynu za 1 sekundu (m^3)“ je skutečná hodnota, která byla naměřena v plynovodu, kterým byl prováděn experiment.

Tabulka číslo 5.4: Výpočet množství uniklého plynu - model

Název místnosti	Velikost místnosti (m^3)	Množství uniklého plynu za 1 sekundu (m^3)	Doba úniku k naplnění místnosti do 5% (mm:ss)	Doba úniku k naplnění místnosti do 0,5% (mm:ss)	Doba úniku k naplnění místnosti do 1% (mm:ss)	Doba úniku k naplnění místnosti do 2,5% (mm:ss)
Suterén	1,130	0,000744	01:41	00:10	00:22	00:50
Schodišťové rameno	0,869	0,000744	01:07	00:07	00:13	00:34
Byt v 1. patře	1,136	0,000744	01:41	00:10	00:20	00:50
Všechny místnosti	3,135	0,000744	04:29	00:27	00:55	02:14

Z tabulky je patrné, že teoretické výsledky modelu a předlohy se značně liší. Nejspíš je to zapříčiněno změnou velikosti množství uniklého plynu a změnou velikosti daného objektu. Skutečné výsledky měření jsou uvedeny v následující podkapitole (kapitola číslo 5.3), kde je uvedeno i vyhodnocení výsledků měření experimentu. Během experimentu docházelo k měření maximální koncentrace 2,5%, aby nedošlo k naplnění daného objektu na dolní mez výbušnosti, výsledky, které jsou proto spočítány a uvedeny v tabulkách 5.3 a 5.4 (Doba úniku k naplnění místnosti do 5%) jsou pouze pro ilustraci a v další kapitole už se nebudou vyskytovat.

5.3 Vyhodnocení výsledku měření

Po samotném měření došlo k vyhodnocení výsledků měření. Byla určena chybovost (směrodatná odchylka) a procentuální vyjádření této chybovosti. Výsledky je možné vidět v tabulce číslo 5.5 a 5.6.

Dle uvedených výsledků je patrné, že časy jednotlivých čidel se pohybovaly v rozmezí do 2,5%, což je považováno za věrohodný výsledek. Výjimka je jen u třístupňového čidla (V2) při měření koncentrace 20%, kde je odchylka kolem 4%. U tohoto čidla (V2) jsou všechny odchylky o něco větší než u ostatních a to je patrně způsobeno netěsností místa kolem čidla a zdí domu při samotném měření. I přes toto navýšení se chybovost pohybuje do 5%, což je považováno za uspokojivý výsledek.

Nejpřesnějších výsledků bylo dosaženo u čidla M2, kde je chybovost do 1%.

Tabulka číslo 5.5: Vyhodnocení dvoustupňových čidel

Čidlo a měřená koncentrace uniklého plynu	Zaokrouhlený výsledný čas v sekundách	Hodnota chybového intervalu (+, -) v sekundách	Procentuální vyhodnocení chybového intervalu
M1 10%	30,00	0,50	1,67%
M1 20%	31,00	0,50	1,61%
M2 10%	92,25	0,50	0,54%
M2 20%	95,30	0,82	0,86%
M3 10%	98,44	0,64	0,65%
M3 20%	106,00	1,40	1,32%
M4 10%	155,20	1,07	0,69%
M4 20%	165,00	1,50	0,91%
M5 10%	119,70	1,15	0,96%
M5 20%	129,10	1,91	1,48%

U třístupňových čidel je chybový interval o něco vyšší než u dvoustupňových čidel. Není zcela jasné, proč k tomuto jevu došlo. Je možné, že kvůli samotné konstrukci čidla došlo k netěsnosti na modelu, protože otvory pro třístupňová čidla musely do modelu být vyřezány ve větších rozměrech než u čidel dvoustupňových. Díky tomuto faktoru muselo docházet k vyšší netěsnosti na modelu a k častějšímu úniku plynu mimo žádoucí prostor.

Tabulka číslo 5.6: Vyhodnocení třístupňových čidel

Čidlo a měřená koncentrace uniklého plynu	Zaokrouhlený výsledný čas v sekundách	Hodnota chybového intervalu (+, -) v sekundách	Procentuální vyhodnocení chybového intervalu
V1 10%	19,90	0,57	2,86%
V1 20%	22,20	0,33	1,49%
V1 50%	26,44	0,45	1,71%
V2 10%	148,88	3,46	2,32%
V2 20%	171,00	6,80	3,98%
V2 50%	206,60	4,57	2,21%
V3 10%	67,11	0,91	1,35%
V3 20%	72,88	0,95	1,30%
V3 50%	115,13	1,98	1,72%
V4 10%	78,88	1,63	2,06%
V4 20%	98,00	1,90	1,94%
V4 50%	129,13	1,39	1,08%
V5 10%	132,00	1,70	1,29%
V5 20%	160,22	2,33	1,46%
V5 50%	209,63	3,06	1,46%

Při srovnání výsledků měření a výsledků výpočtů, je zcela patrné, že daná reakce v experimentu byla mnohem pomalejší. Tento fakt byl s největší pravděpodobností zapříčiněn tím, že čidla plyn se nešířil rovnoměrně a nenaplňoval místnosti postupně. Navíc čidla měřila koncentraci bodově, kdežto při teoretickém výpočtu se předpokládá naplnění celé místnosti na požadovanou koncentraci. Dále v daném teoretickém výpočtu není bráno v úvahu zahnutí schodiště, nerovnosti atp., v reálném objektu nemají všechny místnosti pravidelný krychlový tvar. Tato skutečnost v reálné situaci nikdy nemůže nastat, a to ani za těch nejideálnějších podmínek, neboť v některých místech objektu se plyn nahromadí ve vyšších koncentracích než v jiných částech.

V následující kapitole (kapitola 6) je pak vyhodnocen výsledek z hlediska podobnosti, respektive z hlediska podobnostních čísel.

6 Podobnost objektu s jeho modelem

Pokud fungují dva fyzikální děje, které mají odlišné měřítko, pak si můžou být podobné a to za předpokladu splnění tří podobností. Jedna se o podobnost geometrickou, podobnost dynamickou a podobnost kinematickou. [19]

Geometrická podobnost je taková, kdy rozměry modelu a předlohy jsou v konstantním poměru. To samé by mělo platit o jejich úhlech. V případě této práce byla tato podobnost splněna, neboť po přeměření a následujících propočtech byl sestaven model, který byl geometricky podobný dané předloze. [19]

Kinematická podobnost vyžaduje, aby poměr rychlosti v odpovídajících si bodech modelu a předlohy byl stejný. V případě práce se jedná o rychlost, kterou se dané médium šíří z potrubí. I v tomto případě se podařilo daný poměr jednoduše spočítat (dle Bernoulliho rovnice), v případě tohoto experimentu se výsledek lišil a to zejména z důvodu omezení přístroji (plynovody). [19]

Poslední podobnost, čili dynamická vyžaduje, aby poměr sil, které jsou hlavní a které vyvolávají pohyb, byl u modelu i předlohy stejný. U této podobnosti je třeba se na chvíli zastavit, neboť je možné tyto síly rozdělit na dvě hlavní skupiny a to na síly plošné a síly objemové (někdy též hmotnostní). Do skupiny plošných sil patří síly třecí, síly kompresní nebo síly kapilární (někdy též povrchové). Do druhé skupiny, čili do skupiny objemových sil se řadí síly setrvačné, síly tíhové nebo síly impulsní se změnou hybnosti. Podle povahy fyzikálního děje je možné tyto síly dávat do vzájemného poměru a definovat tak různá kritéria fyzikální podobnosti.

V mechanice jsou nejznámější podobnostní čísla Eulerovo číslo (6.1), Reynoldsovo číslo, Froudeovo číslo, Newtonovo číslo (6.2), Machovo číslo (6.3) a Weberovo číslo (6.4). Každé z těchto čísel udává poměr mezi dvěma dominantními druhy sil. Bylo zjištěno, že není možné dosáhnout shody všech podobnostních čísel mezi modelem a předlohou. Z tohoto důvodu je vždy na zkušenosti řešitele, aby dokázal vybrat správné podobnostní číslo podle sil, které budou mít na daný děj největší vliv. V konečném důsledku se potom použijí jedno nebo dvě podobnostní čísla, která budou mít na pro úspěch daného úkolu klíčový význam. [19] a [29]

$$Eu = \frac{p}{\rho \times v^2} = \frac{F_p}{F_s} \quad (6.1)$$

F_p : tlaková síla

F_s : setrvačná síla

$$Ne = \frac{F_p}{\rho \times l^2 \times v^2} = \frac{F_p}{F_s} \quad (6.2)$$

F_p : tlaková síla

F_s : setrvačná síla

$$Ma = \frac{v}{a} = \sqrt{\frac{F_s}{F_d}} \quad (6.3)$$

F_d : kompresní síla

F_s : setrvačná síla

$$We = \frac{\rho \times v^2 \times l}{\sigma} = \frac{F_s}{F_k} \quad (6.4)$$

F_k : kapilární síla

F_s : setrvačná síla

Ani jeden ze 4 uvedených vzorců (6.1 – 6.4) není vhodný pro výpočet podobnosti experimentu. První dva vzorce (6.1 a 6.2) vyjadřují podobnost mezi tlakovými silami, což by se pro daný úkol hodilo, pokud by se měřil pouze tlak, respektive rozdíl tlaku v potrubí. Další věc, která sehrála roli pro nevhodnost použití daných vzorců je fakt, že není možné změřit rychlost proudění polutantu (plynu) ve všech místnostech daného objektu. Další vzorec (6.3) určuje poměr setrvačných sil, což je pro daný experiment zcela nevhodné, neboť setrvačné síly v tomto experimentu nehrály roli. A poslední vzorec (6.4) se používá zejména pro kapilární jevy, takže byl taktéž nevhodný. [19] a [29]

Na základě úsudku a byl vybrán jako nejvhodnější parametr Reynoldsovo číslo. Vzorec pro jeho výpočet je následující (vzorec číslo 6.5). [19] a [29]

$$Re = \frac{v \times d}{\gamma} \quad (6.5)$$

Kde v je rychlost proudící látky (plynu), d je poloměr trubice a γ je viskozita. [19] a [29]

Na základě výše uvedeného vzorce byl proveden výpočet, při kterém bylo zjištěno hned několik skutečností. Samotnému procesu výpočtu předcházelo modelování krychle, díky kterému byl zjištěn tvar rovnice daného modelu. Bylo zjištěno, že nejlépe odpovídá realitě,

pokud by se zkombinovaly 2 parametry a to již zmíněné Reynoldsovo číslo a Froudeovo číslo, jehož vzorec je popsán níže (vzorec číslo 6.6). [19] a [29]

$$Fr = \frac{v^2}{g \times l} \quad (6.6)$$

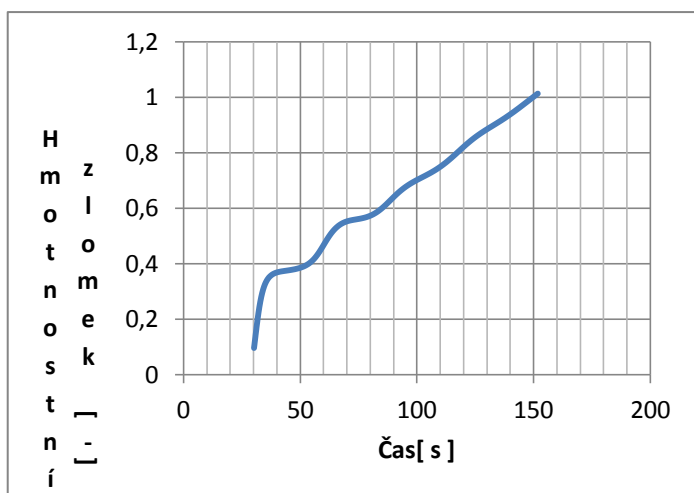
Ve vzorci 6.6 se vyskytují 3 proměnné, načež v je rychlost proudění, g je gravitační zrychlení a l je rozměr zdroje proudění plynu. [19] a [29]

Pokud se rozměry otvoru, odkud proudí plyn, zmenší 10x, pak je třeba gravitační zrychlení zmenšit 1000x (viz vzorce 6.7 a 6.8). Rychlost proudění se zvětší 10x.

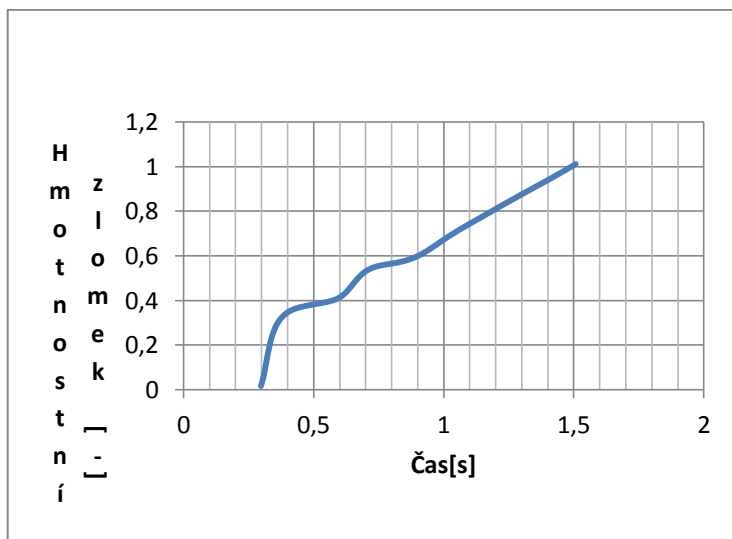
$$Re_m = \frac{10 \times ds}{dt} \times \frac{d \times 0,1}{\gamma} = \frac{ds_m}{dt_m} \times \frac{d_m}{\gamma} \quad (6.7)$$

$$Fr_m = \frac{100 \times v^2}{1000 \times g \times 0,1 \times l} = \frac{v_m^2}{g_m \times l_m} \quad (6.8)$$

Při použití obou vzorců bylo zjištěno, pomocí modelování programem „Ansys Fluent“, že výsledný graf nejlépe odpovídá skutečnosti jen s rozdílnou rychlostí celé reakce. Vše je patrné v grafech číslo 6.1 a 6.2, které jsou uvedeny níže. Na osách je znázorněno množství (koncentrace) plynu a čas, za který se daná reakce udála. Je zjevné, že křivky si jsou velice podobné, respektive jejich průběh. Tento únik byl řešen při modelování krychle. Takže se jednalo o velice zjednodušený experiment, neboť model měl pravidelný a jednoduchý tvar. U grafů číslo 6.1 i 6.2 se jednalo o teoretický průběh. U grafu 6.2 byl daný objekt (krychle) teoreticky 10x zmenšen, rychlost proudění byla 10 větší a gravitační zrychlení bylo 1000x větší.



Graf číslo 6.1: Šíření plynu realita (použití Reynoldsova i Froudeova čísla)



Graf číslo 6.2: Šíření plynu model (použití Reynoldsova i Froudeova čísla)

Postup výpočtu byl následující. Nejdříve bylo vyjádřeno zmenšení pomocí Reynoldsova čísla (viz vzorec číslo 6.9). Jednotlivé hodnoty dosazené v daném vzorci jsou dosazeny podle poměru zmenšení. Hodnota d je poměrné zmenšení, kterým byl zmenšen celý model pro experiment. V tomto případě se jedná o zmenšení otvoru, odkud plyn unikal čili na 18,6765%. Aby se vzorec rovnal, muselo se dosadit za rychlost proudění plynu. Dosazená hodnota je zjištěna díky experimentálnímu měření uvedenému výše jako hodnota zmenšení na mínus prvou.

$$Re_{m1} = \frac{5,354322 \times ds}{dt} \times \frac{d \times 0,186765}{\gamma} = \frac{ds_{m1}}{dt_{m1}} \times \frac{d_{m1}}{\gamma} \quad (6.9)$$

Následovalo zmenšení podobnosti dle Froudeova čísla, načež, již bylo zmíněno, tak z předchozího pokusu, při kterém došlo ke zmenšení krychle, došlo ke zvětšení gravitační rychlosti. Vše je patrné ze vzorce číslo 6.10. Hodnota l je vynásobena poměrovým zmenšením, proto je to v tomto případě vynásobeno 0,186765. Jedná se o hodnotu určující rozměr daného objektu. Hodnota v^2 je hodnota rychlosti a tato hodnota je pak vynásobena druhou mocninou poměrového zmenšení na mínus 1. Aby byl vzorec kompletní, pak se gravitační zrychlení musí změnit tak, aby znovu došlo k rovnosti vzorce, čili gravitační rychlost je rovna podílu hodnoty u rychlosti ke zmenšení daného díla (28,668764 / 0,186765).

$$Fr_{m1} = \frac{28,668764 \times v^2}{153,501802 \times g \times 0,186765 \times l} = \frac{v_{m1}^2}{g_{m1} \times l_{m1}} \quad (6.10)$$

Během pokusu nebylo možné vytvořit takové podmínky, které jsou uvedeny výše, proto jsou výsledky z měření odlišné od reality a model nelze v takovém měřítku použít. Gravitační zrychlení nelze zvýšit v běžných podmínkách 153x.

Vzhledem k tomu, že v tomto případě jsou oba vzorce (6.9 a 6.10) na sobě závislé, pak je jisté, že experiment by bylo možné udělat pouze v modelu, který by ve všech ohledech byl stejný jako předloha. To znamená, že modelem by byla samotná předloha. Tento experiment by bylo velice náročné provést. Z toho jednoznačně vyplývá, že doporučení pro další měření a provádění experimentu je vytvoření modelu velikosti 1:1.

7 Závěr

V dnešní době, kdy jsou mimořádné události stále častější, je nesmírně důležité se touto problematikou zabývat. Nejlepší ochranou proti těmto událostem je prevence, která ovšem není vždy možná, proto je třeba se zabývat možnostmi, které mohou nastat v důsledku těchto událostí. Díky lepším teoretickým znalostem a praktickým zkušenostem z experimentů se může situace při záchranném zásahu mnohonásobně zlepšit a zachránit nejeden lidský život.

Celý experiment byl jedinečný, neboť jsem pracoval se skutečným zemním plynem, kdy jsem měřil jeho skutečnou koncentraci ve skutečném objektu. Model byl sice mnohonásobně zmenšen, ale jinak byl ve všech ohledech stejný, jako skutečný objekt. Materiál, ze kterého byl model postaven, byl polystyren, který byl shledán jako nejideálnější. Největší roli sehrála praktičnost, neboť celý model musel být „rozebíratelný“ a zároveň lehce manipulovatelný.

Tento experiment byl velmi časově náročný, neboť jen při samotné stavbě modelu muselo docházet k prodlevám z důvodu zranění materiálu. Další časově náročnou částí bylo samotné měření, kdy před každým měřením muselo dojít k poskládání modelu, následně k zajištění těsnosti všech místností a následovalo měření. Po měření docházelo k rozebrání celého modelu, potom k odvětrání celé místnosti, k odvětrání zejména celého modelu a poté se celý proces opakoval.

Díky 10 čidlům měřícím koncentraci v celém modelu jsem dostal hrubý obraz toho, jak se daný plyn může objektem šířit. Už od začátku bylo téměř jasné, že se výsledky experimentu budou lišit od výsledku teoretických propočtů šíření plynu a určování koncentrace v jednotlivých místnostech. Tento fakt se potvrdil, ovšem výsledek byl i pro mě překvapivý, neboť skutečná rychlost šíření byla mnohonásobně nižší, než samotný teoretický výpočet. Z výsledků experimentu je tedy patrné, že plyn se objektem šíří i tak celkem rychle a veškeré výpočty této problematiky by měly být ověřovány podobnými experimenty.

Cílem práce bylo experimentální stanovení množství uniklého hořlavého plynu do ohraničeného prostoru stavebního objektu. Díky experimentu bylo zjištěno, že plyn se šíří mnohem pomaleji, než je tomu na základě teoretických výpočtů. Dále bylo zjištěno, že

experiment nelze provádět se spolehlivými výsledky, pokud by model objektu neměl stejnou velikost a všechny podmínky by nebyly stejné jako v reálné situaci. Z výsledků a analýz vyplynulo, že objekt by musel být stejně velký a musely by být zajištěny stejné podmínky, aby výsledky podali obraz co nejbližší podobný skutečnosti. Navíc, při změně vnějších podmínek se plyn může šířit rozdílně a tak jakýkoli výsledek je spíše orientační.

Seznam použité literatury

a) Tištěné publikace

- [39] BOSCH, C.J.H., a WETERINGS, R.A.P.M., Methods for the calculation of physical effects, 3. vydání. Haag: Committee for the Prevention of Disasters, 2005. 870 s.
- [37] BUCHTA, Jan, Statistika nehod a havárií do roku 2011. 1. vydání. Praha: Agentura ČSTZ, s.r.o., 2012. s. 28, ISBN 978-80-86028-96-5
- [28] CRHA, Petr, Plynárenská příručka: 150 let plynárenství v Čechách a na Moravě. 1. vydání. Praha: Gas s.r.o., 1997. s. 1192. ISBN 80-902339-6-1.
- [21] ČERNOGURSKÁ, Mária a PŘÍHODA, Miroslav. Aplikácia dimenzinálnej analýzy pri modelovaní javov v oblasti energetiky, 1. vydání. Košice: Strojnícka fakulta Technickej univerzity v Košiciach, 214 s., ISBN 978-80-553-0699-5.
- [45] Damec, Jaroslav, Protivýbuchová prevence, 1. vydání. Ostrava: SPBI, 2005. 188 s. ISBN 80-86111-21-0
- [11] FÍK, Josef. Zemní plyn: tabulky, diagramy, rovnice, výpočty. Praha: Agentura ČSTZ, s.r.o., 2006. 355 s. ISBN 80-86028-22-4.
- [2] CHMELÍK, Jan, a kolektiv, Rukověť kriminalistiky, 1. vydání. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk s.r.o., 2005, 532 s., ISBN 80-86898-36-9
- [12] KORÍNEK, Karel; KAŇOKOVÁ, Zdeňka. Ochrana před výbuchy plynů, par prachů, analyzátory plynů, detekční přístroje. 1. vydání. Praha: Gas s.r.o., 2006. 296 s. ISBN 80-7328-096-5.
- [7] KVARČÁK, Miloš. Požární taktika v příkladech. 2. vydání. Ostrava: SPBI, 2008. 175 s. ISBN 978-80-7385-062-3.
- [6] NEJEZCHLEB, R., Fyzikální vlastnosti a spalovací charakteristiky paliv. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 35 s.
- [29] NOSKIEVIČ, Jaromír, a Kolektiv, Mechanika tekutin, 1. vydání. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1987, 354 s., ISBN 04-233-87.
- [9] NOVÁK, Rudolf. Plyn v domácnosti. 1. vydání. Brno: ERA, 2001. 144 s. ISBN 80-86517-00-4.

[3] RYBÁŘ, Miroslav, a kolektiv, Kriminalistika - Metodika vyšetřování vybraných druhů trestných činů, 1. vydání. Plzeň: NAVA TISK spol. s.r.o., 2008, 145 s., ISBN 978-80-7211-275-3

[20] SCHOVÁNEK, Petr a HAVRÁNEK, Vítězslav. Chyby a nejistoty měření, 1. vydání. Olomouc: Univerzita Palackého Olomouc, 18 s.

[42] ŠNITA, Dalimil, a kolektiv Chemické inženýrství I. 1. vydání. Praha : VŠCHT Praha, 2006. 318 s. ISBN 80-7080-589-7

[19] ZAVILA, O. Physical Modelling of Gas Pollutant Motion in the Atmosphere. In Liu, C. Advances in Modeling of Fluid Dynamics. Rijeka: In Tech, 2012, s. 51 - 78.

b) Normy

[38] TDG 903 01 – Výpočet množství uniklého plynu z poškozených plynovodů a plynovodních přípojek, ČPS, 27.9.2006

c) Elektronické dokumenty

[14] AKTUALNECZ: Po stopách tragédie [online]. Aktuálně.cz [19.2.2013]. Dostupné z: <http://zpravy.aktualne.cz/regiony/moravskoslezsky/po-stopach-tragedie-pribeh-domu-kde-se-zastavil-cas/r~i:article:771775/>

[17] BLESK: Tragédie ve Frenštátě [online]. Blesk [13.3.2013]. Dostupné z: <http://www.blesk.cz/clanek/zpravy-udalosti/192572/tragedie-ve-frenstate-popaleni-manzele-jsou-mimo-ohrozeni-zivota.html>

[36] CITATY: Albert Einstein [online]. Citáty [29.3.2015]. <http://citaty.net/autori/albert-einstein/>

[18] DENIK: Muž z vybuchlého domu ve Frenštátě zemřel [online]. Deník [15.12.2014]. Dostupné z: http://novojickinsky.denik.cz/zpravy_region/muz-z-vybuchleho-domu-ve-frenstate-zemrel-20141215.html

[22] DENIK: Za vyhození domu do vzduchu padlo 6 let [online]. Deník [27.6.2014]. Dostupné z: <http://karvinsky.denik.cz/zlociny-a-soudy/za-vyhozeni-domu-do-vzduchu-padlo-6-let-20140627.html>

[32] GAS-AS: G4 [online]. GAS a.s. [15.3.2015]. Dostupné z: <http://www.gas-as.cz/www/obrazky/velke/55463.jpg>

- [13] IDNES: Jak poznat nebezpečí [online]. iDnes [2.3.2013]. Dostupné z: http://ostrava.idnes.cz/policiste-resi-sousedske-spory-kazdy-den-jak-poznat-nebezpeci-pbx-/ostrava-zpravy.aspx?c=A130301_141617_ostrava-zpravy_jog
- [15] IDNES: Policie potvrdila viníka frenštátského výbuchu [online]. iDnes [24.10.2013]. Dostupné z: http://ostrava.idnes.cz/policie-potvrdila-vinika-frenstatskeho-vybuchu-ful-/ostrava-zpravy.aspx?c=A131024_093346_ostrava-zpravy_jog
- [23] IDNES: V Ostravě vybuchl dům [online]. iDnes [5.2.2014]. Dostupné z: http://ostrava.idnes.cz/v-ostrave-vybuhl-dum-hasici-vytahli-jednoho-zavaleneho-muze-pts-/ostrava-zpravy.aspx?c=A140205_080058_ostrava-zpravy_jog
- [25] IMPULS: Záchranáři zasahují po výbuchu v paskovské celnici [online]. Impuls [18.11.2014]. Dostupné z: <http://regiony.impuls.cz/moravskoslezsky-kraj/zachranari-zasahuji-po-vybuchu-v-paskovske-celnici-20141118-2y5k.html>
- [43] IRZ: Oxid uhelnatý [online]. IRZ [12.4.2015]. Dostupné z: http://irz.cz/repository/latky/oxid_uhelnaty.pdf
- [33] JL-ELEKTRA: GI-03M [online]. J. L. Elektra [15.3.2015]. Dostupné z: <http://www.jl-elektra.cz/>
- [34] JTO: GC20 [online]. JTO [15.3.2015]. Dostupné z: <http://www.jto.cz/gc20.html>
- [35] JTO: GI30 [online]. JTO [15.3.2015]. Dostupné z: <http://www.jto.cz/gi30.html>
- [26] LIDOVKY: Za únik v Paskově může únik plynu [online]. Lidovky [19.11.2014]. Dostupné z: http://www.lidovky.cz/za-vybuch-v-paskove-muze-unik-plynu-d6y-/zpravy-domov.aspx?c=A141119_104430_ln_domov_ele
- [40] APLIKOVANÁ FYZIKA: Model [online]. Aplikovaná fyzika [11.4.2015]. Dostupné z: <http://apfyz.upol.cz/ucebnice/down/mini/model.pdf>
- [1] SKRIPTUM: Modely a modelování [online]. Skriptum [15.3.2014]. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~bri10/Teaching/Statistika%20II/skriptum/1_Modely_a_modelovani.PDF
- [5] STUDIJNÍ OPORY: Modelování a simulace [online]. Studijní opory [8.2.2015]. Dostupné z: <http://www.fmfi.vsb.cz/export/sites/fmfi/cs/studium-a-vyuka/studijni-opory/638-Jancikova-Modelovani-a-simulace.pdf>

[4] TABULKY: Dynamická viskozita plynů [online]. Tabulky [30.12.2002]. Dostupné z: <http://www.converter.cz/tabulky/dynamicka-viskozita-plynu.htm>

[30] TESTO: Diferenční tlakoměr v kapesním formátu [online]. testo [15.3.2015]. Dostupné z: <https://www.testo.cz/pristroje-detailne/0560+0510/testo-510-Diferencni-tlakomer-v-kapesnim-formatu>

[31] TESTO: Termohygrometr a barometr [online]. testo [15.3.2015]. Dostupné z: <http://www.testo.cz/pristroje-detailne/0560+6220/testo-622-termohygrometr-a-barometr>

[16] TNCZ: Černá kronika [online]. TN.cz [24.10.2013]. Dostupné z: <http://tn.nova.cz/clanek/zpravy/cernakronika/hruza-ve-frenstatu-police-prozradila-jak-vrah-vybuch-pripravoval.html>

[10] TOME GAS: Co je propan – butan [online]. Tomegas [29.3.2015]. Dostupné z: <http://www.tomegas.cz/co-je-propan-butan/>

[24] TYDEN: Exploze v Paskově prý zapříčinil metan z potrubí [online]. Týden [25.11.2014]. Dostupné z: http://www.tyden.cz/rubriky/domaci/exploze-v-paskove-pry-zapricinil-metan-z-potrubu_325218.html#.VQVE0o6G-Yw

[27] TZB INFO: Provoz komínů, kouřovodů a plynových spotřebičů [online]. tzbinfo [4.11.2013]. Dostupné z: <http://vytapieni.tzb-info.cz/kominy-a-kourovody/10537-provoz-kominu-kourovodu-a-plynovych-spotrebicu>

[41] ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA: Fyzikální modely a analogy [online]. Západočeská univerzita [11.4.2015]. Dostupné z: https://ftp.zcu.cz/files/vyuka/mtp/pdf/2011_MTP_cviceni_01_navod.pdf

[8] ZEMNÍ PLYN: Plyn [online]. Zemní plyn [29.3.2015]. Dostupné z: <http://www.zemniplyn.cz/plyn/>

d) Prezentace

[44] VONÁSEK V. Četnost a následky úniků plynů v domácnostech v ČR z pohledu HZS ČR za roky 2012-3Q 2014. Prezentace prezentována v: [Tiché nebezpečí v našem okolí; 9. prosince 2014; Ostrava, Česká republika]

Seznam obrázků

Obrázek číslo 1.1: Zničený dům po výbuchu v Havířově	10
Obrázek číslo 1.2: Trosky domu po výbuchu v Ostravě Martinově	10
Obrázek číslo 1.3: Trosky celnice v Paskově	11
Obrázek číslo 1.4: Dům před výbuchem	12
Obrázek číslo 1.5: Kuželový ventil plynového potrubí	13
Obrázek číslo 1.6: Zdemolovaný dům	13
Obrázek číslo 1.7: Místo výbuchu dne	14
Obrázek číslo 2.1: Trojúhelník hoření	15
Obrázek číslo 4.1: Geometrická podobnost	32
Obrázek číslo 4.2: Kinematická podobnost	33
Obrázek číslo 4.3: Dynamická podobnost	33
Obrázek číslo 4.4: Vliv počtů měření n na hodnotu x	38
Obrázek číslo 5.1: Koncovka potrubí na modelu	40
Obrázek číslo 5.2: Dvoustupňové čidlo GC20	41
Obrázek číslo 5.3: Třístupňové čidlo GI30	41
Obrázek číslo 5.4: Umístění čidel a přívodu plynu v 1. podzemním patře (sklep)	42
Obrázek číslo 5.5: Umístění čidel v 1. nadzemním patře	43
Obrázek číslo 5.6: Umístění čidel v 2. nadzemním patře a v 3. nadzemním patře	44
Obrázek číslo 5.7: Testo 510	45
Obrázek číslo 5.8 Testo 622	45
Obrázek číslo 5.9: Membránový plynoměr G6	46
Obrázek číslo 5.10: Indikátor hořlavých plynů GI-03M	46
Obrázek číslo 5.11: Schéma experimentu	47
Obrázek číslo 5.12: Síťové zapojení čidel	48

Seznam tabulek

Tabulka číslo 1.1: Počty zraněných a usmrcených osob a škody na majetku na území celé České republiky	8
Tabulka číslo 1.2: Činnosti vedoucí ke vzniku požáru	9
Tabulka číslo 2.1: Vlastnosti zemního plynu	17
Tabulka číslo 2.2: Vlastnosti propan – butanu	18
Tabulka číslo 2.3: Vlastnosti oxidu uhelnatého	19
Tabulka číslo 4.1: Rozšiřující koeficient	36
Tabulka číslo 5.1: Časy z měření dvoustupňových čidel	48
Tabulka číslo 5.2: Časy z měření třístupňových čidel	49
Tabulka číslo 5.3: Výpočet množství uniklého plynu – objekt	53
Tabulka číslo 5.4: Výpočet množství uniklého plynu – model	54
Tabulka číslo 5.5: Vyhodnocení dvoustupňových čidel	56
Tabulka číslo 5.6: Vyhodnocení třístupňových čidel	57

Seznam grafů

Graf číslo 1.1: Počty požárů způsobené plynnými palivy za roky 2001 – 2011	6
Graf číslo 1.2: Počet technických zásahů za roky 2001 – 2011	7
Graf číslo 1.3: Počty výbuchů v letech 2001 – 2011	7
Graf číslo 1.4: Podíl druhů uniklých plynů v domácnostech v % v české republice (1. 1. 2012 – 30. 9. 2014)	8
Graf číslo 6.1: Šíření plynu realita (použití Reynoldsova i Froudeova čísla)	60
Graf číslo 6.2: Šíření plynu model (použití Reynoldsova i Froudeova čísla)	61

Seznam příloh

Příloha číslo 1: Výkres objektu – 1. podzemní patro

Příloha číslo 2: Výkres zmenšeného objektu – 1. Podzemní patro

Příloha číslo 3: Výkres objektu – 1. nadzemní patro

Příloha číslo 4: Výkres zmenšeného objektu – 1. nadzemní patro